

PROPUESTA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y  
ELECTRÓNICOS EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL VALLE  
DEL CAUCA

KERLY DADIANA LIBREROS LORZA

DANIELA PARRA MARULANDA

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

ZARZAL-VALLE

2018

PROPUESTA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y  
ELECTRÓNICOS EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL VALLE  
DEL CAUCA

KERLY DADIANA LIBREROS LORZA

DANIELA PARRA MARULANDA

Trabajo de Grado presentado para optar por el título de Ingeniero Industrial

DIRECTOR:

M.Sc. Mauricio Alejandro Buitrago Soto

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

ZARZAL-VALLE

2018

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2. JUSTIFICACIÓN .....	12
3. OBJETIVOS .....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
4. MARCO REFERENCIAL .....	14
4.1 MARCO DE REFERENCIA .....	14
4.2 MARCO TEÓRICO.....	19
4.2.1 Manejo de los RAEE.....	19
4.2.2 Gestión de logística inversa.....	23
4.2.3 Dinámica de sistemas .....	25
4.3 MARCO LEGAL .....	26
5. DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	28
6. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELEVANTES EN LA RECOLECCIÓN DE LOS RAEE EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL .....	30
6.1 FACTORES RELEVANTES EN EL PROCESO DE CONTROL Y GESTIÓN DE LOS RAEE IDENTIFICADOS EN LA LITERATURA. ....	42
7. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA QUE INTEGRE LOS FACTORES RELEVANTES EN EL CONTROL Y GESTIÓN DE LOS RAEE.....	47
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	58
8.1. ANÁLISIS DE ESCENARIOS.....	63
9. CONCLUSIONES .....	67
10. RECOMENDACIONES .....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Elementos de los RAEE y daños potenciales a la salud humana y al medio ambiente.....	9
Tabla 2 Procesos de logística inversa. ....	10
Tabla 3 Categorización de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) en la UE según la Directiva RAEE de 2002. ....	21
Tabla 4 Factores relevantes en el control y gestión de los RAEE, considerados por diversos autores. ....	42
Tabla 5. Importancia de los factores relevantes en el presente trabajo de investigación. ....	45
Tabla 6. Descripción de las ecuaciones del modelo actual. ....	50
Tabla 7. Simulación de producción de RAEE a través de tiempo. ....	58
Tabla 8. Simulación de producción de RAEE reciclable a través del tiempo.....	60
Tabla 9. Simulación de producción de RAEE contaminante.....	61
Tabla 10. Simulación de diferentes escenarios al modelo del sistema actual .....	63

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Proceso de gestión de RAEE en puntos de reparación .....	40
Gráfica 2. Proceso de gestión de RAEE en los sitios no convencionales (chatarrerías) .....	41
Gráfica 3. Diagrama causal del sistema actual de gestión de RAEE. ....	48
<i>Gráfica 4. Diagrama de Forrester estado actual del sistema de gestión de RAEE. ....</i>	<i>49</i>
Gráfica 5. Simulación de producción de RAEE total.....	58
Gráfica 6. Simulación de producción de RAEE reciclable .....	59
Gráfica 7. Simulación de producción RAEE contaminante.....	61

## INTRODUCCIÓN

El término RAEE “Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos” se refiere a aparatos dañados, descartados u obsoletos que consumen electricidad. Incluye una amplia gama de aparatos como computadores, equipos electrónicos de consumo, celulares y electrodomésticos que ya no son utilizados o deseados por sus usuarios. (Ministerio de Ambiente, 2010)

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos se han convertido en una preocupación mundial debido a la alta producción y contaminación que generan. El impacto ambiental atribuido a estos aparatos se debe a los componentes con los que son fabricados, entre ellos se encuentran materiales ignífugos bromados, cadmio (Ca), Cromo VI, Plomo (Pb), Níquel (Ni), Mercurio (Hg) que causan daños potenciales para la salud humana (cáncer, daño en los riñones y en el cerebro, reacciones alérgicas, posibles daños en los sistemas nervioso, endocrino, cardiovascular, inmunológico) y al medio ambiente (generación de dioxinas y furanos, efectos tóxicos en la flora y fauna); de esta manera, un factor determinante que minimiza la contaminación y permite el aprovechamiento de los componentes es el manejo y disposición adecuados de los RAEE.

Los Lineamientos Técnicos del Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos presenta las opciones adecuadas para la retoma y recolección de los RAEE, como son: fabricante o importador, punto de venta, puntos establecidos para la entrega o recolección de RAEE, retoma o recolección directa por la empresa de reciclaje. En cuanto al tratamiento existen diferentes opciones como el reúso, el reciclaje, la fundición, la refinación térmica y química, y la incineración; y como disposición final, se efectúan en ocasiones prácticas poco recomendadas como localización en rellenos sanitarios y rellenos de seguridad. El conjunto de estas actividades encaminadas a la recuperación de los residuos desde su recolección hasta su disposición final o aprovechamiento hacen parte de la logística inversa, la cual tiene como objetivo la reutilización y aprovechamiento de los residuos para obtener tanto beneficios económicos como ambientales y sociales.

De acuerdo a los estudios de Universidad de las Naciones Unidas, Colombia generó entre 2012 y 2013, 535 mil toneladas de RAEE, y para 2018 se pronostica que la producción de dichos residuos llegue a las 341 kilo toneladas, a pesar de que los Residuos Eléctricos Y Electrónicos (RAEE) en Colombia están regulados por la ley 1672 del 19 julio del 2013, donde además se establece la responsabilidad extendida del productor como principio rector de la política y asigna obligaciones y responsabilidades a todos los actores de la cadena como los fabricantes e importadores, los comercializadores, los consumidores, y los gestores de RAEE. Así mismo, establece obligaciones a las diferentes entidades que conforman el Gobierno nacional y autoridades ambientales y a las entidades territoriales. Adicionalmente en Latinoamérica se prevé que la cantidad de residuos aumente a 4.8 millones de toneladas en 2018 lo que muestra un crecimiento de 70% respecto a 2009, mientras tanto en el mundo se espera un crecimiento de sólo 55%.

En cuanto a la gestión de los RAEE en Colombia según los datos de Belmont Trading – gestora de los residuos eléctricos y electrónicos provenientes de los principales operadores móviles del país- en total, desde 2007 a 2014 se recolectaron más de 185 toneladas de RAEE proveniente de celulares, accesorios y baterías. En este volumen hay 907.613 teléfonos móviles, 2.931.759 de accesorios y 703.463 baterías. (Román, 2015). Según (Lizarazo Ramírez, 2017) las empresas gestoras de RAEE Ecolecta y Ecocomputo durante el 2016 recolectaron 7.751,4 kg de RAEE.

Considerando lo anterior, el presente proyecto tiene como finalidad realizar un análisis del impacto que generan los RAEE, a partir de un modelo de simulación dinámica de la logística inversa, en el municipio de Zarzal, ya que no cuenta con información clara de sus residuos eléctricos y electrónicos ni promueve conciencia ambiental en torno al manejo y disposición de este tipo de residuos. El municipio realiza la gestión de los RAEE a través de canales informales (negocios comerciales de reparación de electrodomésticos y aparatos eléctricos, recicladores y chatarrerías); debido a esto se opta por ejecutar una caracterización de la gestión y disposición de dichos residuos en los puntos de reparación y chatarrerías del municipio, aplicar una encuesta para definir los principales factores que inciden en este tipo de residuos, plantear las variables, diagramar la información y establecer un modelo de simulación que permita identificar los escenarios y las estrategias de la situación actual.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los RAEE presentan un riesgo potencial para el ambiente según el manejo que se les dé, así como una oportunidad de negocio dado el contenido de materiales valiosos y peligrosos. Si bien las sustancias peligrosas no representan un riesgo durante la fase de utilización de los equipos, pueden ser perjudiciales cuando entran en desuso, específicamente cuando son sometidos a procesos de desensamble en condiciones no adecuadas en las que no se tenga en cuenta su potencial peligro. (Ministerio de Ambiente, 2010).

Según un informe realizado por la Universidad de las Naciones Unidas en 2015, la cantidad de RAEE generado en el mundo durante el 2014 alcanzó un récord al llegar a los 41,8 millones de toneladas. En términos de volumen producido por país figuran en cabeza Estados Unidos y China, que abarcan el 32% de la basura electrónica mundial. Según el estudio, Noruega es el país que produce más RAEE por habitante con 28,4 kg, seguido de Suiza (26,3 kg) e Islandia (26,1 kg). La región que menos genera es África con 1,7 kg por habitante. En cuanto a América Latina produjo el 9% de los residuos electrónicos del mundo durante el 2014. El estudio titulado “eWaste en América Latina: Análisis estadístico y recomendaciones de política pública” (GSMA & Universidad de Naciones Unidas, 2015), revela que en los próximos cuatro años los residuos electrónicos (e-waste) por sus siglas en inglés, -lo que es equivalente a Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) y en español, Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)- generado en la región crecerá entre un 5% y un 7% anual, alcanzando casi 4.800 kilo toneladas para el 2018; al igual que para el caso de Colombia el estudio arrojó que se generó entre los años 2012 y 2013, 535 mil toneladas de RAEE.

Entre los compuestos más peligrosos de los aparatos eléctricos y electrónicos están cadmio, materiales ignífugos bromados (los materiales ignífugos bromados son compuestos organobromados que se aplican a los productos para impedir o retrasar la ignición de los materiales combustibles en caso de incendio), cromo VI, plomo, níquel, mercurio, los cuales son tóxicos para las personas y el medio ambiente. Se hace necesario el conocimiento de estos compuestos y dar un manejo adecuado durante su vida útil y disposición final.

Según (Castro, 2012), “Los componentes de los RAEE no tratados adecuadamente generan la posibilidad de producir daño al hombre y al medioambiente por la exposición a un agente químico o físico bajo condiciones específicas”.

En la Tabla 1 elaborada por la Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje (ACRR) (Asociación, 2003) se nombran algunos agentes y sus posibles consecuencias al estar en contacto con seres humanos o con el medio ambiente.



*Tabla 1 Elementos de los RAEE y daños potenciales a la salud humana y al medio ambiente*

<b>Elemento</b>	<b>Daños potenciales para la salud humana</b>	<b>Daños potenciales para el medio ambiente</b>
Materiales ignífugos bromados	Cancerígenos y neurotóxicos; pueden inferir así mismo con la función reproductora	En los vertedores son solubles, en cierta medida volátiles, bioacumulativos y persistentes. Al incinerarlos se generan dioxinas y furanos
Cadmio (Ca)	Posibles efectos irreversibles en los riñones; provocan cáncer o inducen a la desmineralización ósea	Bioacumulativo persistente y tóxico para el medio ambiente
Cromo VI	Provoca reacciones alérgicas; en contacto con la piel, es cáustico y genotóxico.	Las células lo absorben muy fácilmente; efectos tóxicos.
Plomo (Pb)	Posibles daños en el sistema nervioso, endocrino y cardiovascular; también en los riñones.	Acumulación en el ecosistema; efectos tóxicos en la flora, la fauna y los microorganismos.
Níquel (Ni)	Puede afectar a los sistemas endocrino e inmunológico, a la piel y a los ojos	
Mercurio (Hg)	Posibles daños cerebrales; impactos acumulativos	Disuelto en el agua, se va acumulando en los organismos vivos.

Fuente: Tomada de la Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje s.f. (Asociación, 2003)

Los canales informales (negocios comerciales de reparación de electrodomésticos y aparatos eléctricos, recicladores y chatarrerías) que adquieren y manipulan los RAEE en el municipio de Zarzal Valle, -objeto de estudio-, lo hacen sin ningún tipo de conocimiento o precaución, intensificando los daños que estos producen. Por otra parte, el único canal formal existente realiza la recolección de todos los residuos de forma conjunta, impidiendo un mejor aprovechamiento de los mismos.

La proyección del DANE del año 2016 al 2020 respecto a la población del municipio de Zarzal, señala que tiene un incremento constante del 1% anual; esto sumado a que la sociedad actual incorpora cada vez más las nuevas tecnologías a la vida cotidiana y las reemplaza muy rápidamente sin hacer su disposición en un lugar adecuado, será una problemática que afectará en poco tiempo la salud humana y el medio ambiente (Valdiviezo Black, 2011).

En el municipio objeto de estudio se identifican las siguientes situaciones frente a los RAEE: recolección informal, no separación, manipulación de los objetos sin precaución, acumulación en chatarrerías y disposición en lugares no adecuados. Es de vital importancia

generar mecanismos de gestión de los RAEE que minimicen el impacto ocasionado al medio ambiente y a la salud de sus pobladores.

A través de la logística inversa se busca plantear posibles mecanismos de gestión para recuperar o finalizar aparatos que han llegado a la obsolescencia, que cumplieron su ciclo de vida, darles un uso alternativo o realizar una disposición adecuada. El ciclo de la logística inversa se soporta en un conjunto de procesos que permiten cumplir su objetivo y reducir los impactos negativos en el medio ambiente y la comunidad, de allí que los procesos más comunes sean:

- Recolección.
- Inspección y selección.
- Recuperación directa del producto
- Transformación o tratamiento final
- Transporte y Almacenamiento.

A continuación, en la Tabla 2 se podrán apreciar los conceptos de los procesos de la logística inversa.

*Tabla 2 Procesos de logística inversa.*

Recolección	Recogida de los productos o residuos desde los lugares de uso (cliente) al punto de origen o recuperación
Inspección y selección	Una vez los productos son recolectados, se realiza una inspección de los productos o materiales (empaques) con el fin de determinar la cantidad, procedencia, razones de devolución y tipo de productos.
Recuperación directa del producto	Se realiza cuando el producto recuperado puede ser fácilmente devuelto al mercado o proceso productivo.
Transformación o tratamiento final	Se encarga de transformar o tratar los bienes o residuos recuperados en productos reusables o remanufacturados para el uso industrial o convertirlos a un estado amigable con el medio ambiente.
Transporte	Consiste en mover los productos o residuos entre los puntos de uso y origen o transformación.
Almacenamiento	Utilizado para almacenar los productos, materiales o residuos en forma temporal o por periodos de tiempo programados y controlados

Fuente: (Gómez Montoya, Correa Espinal, & Vásquez Herrera, 2012)

El presente trabajo pretende responder y aportar información relacionada con la siguiente pregunta ¿cómo un modelo de simulación dinámica de la recolección de RAEE en el municipio de Zarzal, puede posibilitar el uso de estrategias y lineamientos de gestión que

mejoren la recolección informal, manipulación, disposición inadecuada de los RAEE y por ende disminuir la contaminación ambiental?

## **2. JUSTIFICACIÓN**

La logística inversa se ha convertido en una posibilidad mundial para frenar los efectos ambientales generados tanto por el incremento desmedido de equipos eléctricos y electrónicos y su manejo inadecuado al llegar a un estado de obsolescencia, como por la explotación de recursos naturales para su fabricación.

Cabe destacar que la debida gestión de los RAEE, los convierte en un medio económico y además disminuye la explotación de recursos y la contaminación del medio ambiente. En algunos países estos residuos tienen un valor material de miles de millones de euros por lo tanto se realizan los debidos tratamientos para aprovecharlos.

En Colombia la gestión de los RAEE fue establecida por la ley 1672 de la que hace parte la política nacional de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que fue actualizada en junio de 2017. En esta se plantean unos objetivos dirigidos a promover la gestión de los RAEE para minimizar los impactos que desencadenan y aprovecharlos de manera segura. Para el 2018 la puesta en marcha de la Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) generará no solo un impacto positivo sobre la sociedad colombiana al mejorar la calidad de vida de las personas y el ambiente, sino también un impacto económico y social por las oportunidades que se pueden presentar con respecto a la creación de empresas, la apropiación de tecnología y la generación de empleo. -Política Nacional gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos-.

Por tanto, se considera oportuno y pertinente realizar un estudio local de manejo de los RAEE y suministrar información básica sobre este en el municipio de Zarzal.

El presente trabajo tiene como finalidad aplicar un modelo de simulación dinámica de la logística inversa de recolección de aparatos eléctricos y electrónicos que permita proponer estrategias para mitigar el impacto ambiental y generar recursos económicos al darle una disposición adecuada a éstos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Formular un modelo de recolección de los RAEE bajo los lineamientos de la logística inversa en el municipio de Zarzal, con el fin de analizar el impacto ambiental que estos generan.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Identificar los factores relevantes en la operación actual de recolección de los RAEE en el municipio de Zarzal, determinando las variables necesarias del modelo según la bibliografía asociada a los modelos de dinámica de sistemas.

Construir un modelo de simulación dinámica que integre los factores más relevantes en la recolección de los RAEE del municipio de Zarzal.

Analizar los escenarios de prueba en términos de eficiencia del modelo para la formulación de estrategias de gestión.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

De acuerdo a los objetivos trazados para el desarrollo del trabajo y al nivel requerido para el mismo se hace necesario relacionar elementos teóricos que contribuyan de una manera eficiente al desarrollo de la metodología planteada en el trabajo. A continuación, se plantean algunos elementos importantes para la realización del presente trabajo.

### **4.1 MARCO DE REFERENCIA**

El aumento de la generación de RAEE ha creado la necesidad de mitigar los impactos que estos generan en el medio ambiente y la salud de las personas; en este punto se presenta el planteamiento de diversos autores que, a través de herramientas como la dinámica de sistemas y la logística inversa han realizado trabajos que pretenden minimizar el daño que se produce al darle una debida gestión a estos residuos.

Por la disminución en los ciclos de vida de los dispositivos electrónicos (computadores, celulares, entre otros) la Gestión de residuos Electrónicos (RAEE) se ha convertido en un reto global, y por ello para (Hoyos Arbeláez, 2011), su objetivo consistió en desarrollar y simular un modelo con viabilidad técnica y financiera de RAEE en Colombia, utilizando técnicas de simulación generando varios escenarios de tal manera que les permitiera evaluar variables como: desensamble, el cual puede ser manual o mecánico, el tipo de procesamiento aplicado a las tarjetas de circuitos integrados (TCI), que permitieron ver el reuso de los equipos, como una oportunidad para disminuir los residuos generados, y el tratamiento ambientalmente responsable de los mismos, recuperando energía para ser usada en los procesos de reciclaje de los materiales que componen los Residuos Electrónicos.

Debido al incremento en el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) se han convertido en una de las corrientes de residuos de más rápido crecimiento en los últimos años. Esto representa un problema ambiental puesto que los RAEE pueden llegar a contener componentes muy tóxicos como metales pesados y retardantes de llama bromados, problemas que aquejan y afectan a la humanidad y en consecuencia a los factores que influyen en la calidad de vida de todos los seres, por esta razón, ( León Giraldo , 2010) realizó un estudio que tiene como objetivo cuantificar los flujos de computadores que están siendo manejados en Colombia utilizando un Análisis de Flujos de Materiales (AFM, método que permite comprender, describir e interpretar los flujos de bienes o materiales entre los procesos que se hallan en un sistema bien definido), con un énfasis particular en los procesos que ocurren en el sector informal. Gracias a este estudio se permitió demostrar que a las prácticas informales conciernen actualmente la gran mayoría de los flujos de computadores reciclados. El escenario de base del AFM muestra que 54% del total de residuos de PC generados en 2009 fue tratado por el sector informal, es decir, con un desensamble manual y la posterior venta

de las partes y materiales valiosos, mientras solo un 14% fue tratado por compañías formales. Demostró que los flujos que llegan al sector informal provienen no sólo de los hogares y pequeñas empresas sino también de las grandes compañías y de las instituciones públicas por medio de subastas o ventas de lotes.

De igual forma, (Hidalgo Aguilera, 2010) identifica los principales aparatos eléctricos y electrónicos, sus componentes peligrosos para el medio ambiente y para el ser humano, las razones por las cuales los vuelven peligrosos, las formas de deshacerse de ellos al llegar el fin de su vida útil y las medidas que se han tomado y se piensan tomar con este tipo de basura. El estudio fue realizado a través de recopilación bibliográfica, y se buscó conocer la situación actual de los RAEE en cuanto a los aparatos electrónicos más usados, los tiempos de vida útil o de renovación, su composición, elementos peligrosos, y las propuestas de parte de organismos especializados; dando como resultado diferentes alternativas de implementación de técnicas en los procesos de fabricación, identificación, ubicación, recolección, transporte, desarme y reutilización de partes con las cuales se pueden elaborar nuevos productos, y por último eliminarlos sin contaminar el medio ambiente ni afectar a la salud humana.

El autor (Yong , 2010), presenta una visión de las prácticas de reciclaje y gestión de desechos eléctricos y electrónicos; específicamente las tasas de generación, los sistemas de procesos de reciclado y las regulaciones de los RAEE, para esto se recolectaron datos asociados con las demandas domésticas anuales (o ventas de electrodomésticos y dispositivos electrónicos seleccionados), visitas a sitios, encuestas, entrevistas, conversatorios, y una revisión de la literatura disponible, trabajándolos por medio de análisis estadísticos y arrojando resultados como la determinación en la falta de sensibilización por parte de los consumidores por lo tanto se deberían plantear estrategias para alentar a los consumidores a comprar dispositivos electrónicos reutilizables, establecer una política eficaz para promover el mercado de reutilización y reciclado de RAEE en colaboración con recicladores de desechos electrónicos.

El desmesurado crecimiento actual de los residuos eléctricos y electrónicos ha hecho que autores como (Mannocci , y otros, 2012) estudien el manejo de estos dispositivos una vez ha terminado su ciclo de vida, para ello los autores describen la gestión de residuos eléctricos y electrónicos, con la ayuda de encuestas donde recopilan información sobre varios residuos y costos e información sobre la gestión de residuos eléctricos y electrónicos; A partir del análisis de datos se conoció que una cuarta parte encuestados gastan menos dinero en la gestión de los RAEE y un poco más de un tercio necesita más dinero al año, un octavo no respondió nada. Sólo una pequeña parte tienen un plan de gestión de residuos para todos los tipos de desechos electrónicos.

Debido a que en la actualidad existen muchas empresas que no tienen sistemas y procedimientos establecidos claros para el manejo de los RAEE autores como (Rincón Argos, 2013) diseña un sistema de gestión de RAEE, analizando en primer lugar la cantidad, tipos de residuos manejados y realizando un diagnóstico situacional, para lo cual tuvo en

cuenta la ley 1672 que involucra la responsabilidad extendida del productor, el marco legal, recolección, monitoreo y control de residuos haciendo uso de la metodología Market supply method. Al final del estudio logra el reconocimiento de la importancia de la educación para implementar una cultura de reciclaje y aprovechamiento de materiales usados, además es necesario ponerse en contacto con los productores para implementar y poner en marcha campañas de recolección manejo y disposición final de residuos con la puesta en marcha del plan manejo ambiental de los RAEE.

De acuerdo con el aumento en el consumo de nuevas tecnologías de información y comunicación (TIC) se ha visto un gran aumento de aparatos de tipo eléctrico y electrónico que entran en desuso y en su mayoría se transforman en residuos conocidos como RAEE; una amplia parte del material es dispuesto en los rellenos sanitarios y convertidos en otra fuente de contaminación, debido a que hasta el momento no se tiene un plan de gestión formal para su manejo adecuado a nivel domiciliario e industrial; por esto (Trujillo Gómez, 2014) en su estudio, hace una exploración para conocer la situación actual del manejo de los RAEE, con el fin de obtener información relevante respecto a las técnicas operativas y financieras aplicables en la creación del agente receptor, a través del estudio detallado de las fuentes primarias y secundarias referentes a la problemática RAEE. Dentro de los instrumentos utilizados para la recopilación de información de forma primaria se tiene la entrevista; la cual se diseñó de tipo no estructurada y se aplicó para el análisis de agentes receptores y actores informales los cuales conforman la cadena de valor de los RAEE, obteniendo resultados en los que se pueden recuperar materiales, sin embargo, dejan de presente que hay inconvenientes desde el punto de vista económico.

(Paéz, Bernardo, da Silva Lima, & Leal, 2016) centran su estudio en las instituciones de educación pública, donde existe una necesidad de un modelo de gestión adecuado capaz de manejar los residuos eléctricos y electrónicos. Los autores se basaron en dos ciclos de mejora y aprendizaje. En el primer ciclo se realizó una recopilación de datos con número, nombre, y especificaciones de los equipos; en el segundo se identificaron las siguientes oportunidades de eliminación: la donación en agencias federales y otras instituciones, venta en subasta, renuncia a la propiedad del artículo por no uso o abandono, intercambio con empresas privadas; al igual que se identificaron dos alternativas, logística inversa en conjunto con los fabricantes y contratos de servicios ambientales para descomponer, tratar, reciclar y disponer. Esto da como resultado que la investigación es una adecuada herramienta de gestión para trabajar los sistemas de tratamiento y disposición de los RAEE.

Las necesidades de reducir la contaminación de los impactos derivados de los dispositivos móviles hicieron que (Güiza Barros, 2014) investigara los programas y proyectos de logística inversa de dispositivos móviles que se llevan a cabo en las empresas de telefonía celular en Latinoamérica y a través de entrevistas determinara cómo se realizaba el proceso de logística inversa en una empresa de telefonía en Colombia. Como resultado generó una propuesta para ser adicionada al programa de logística inversa que desarrolla una empresa en Colombia,



permitiendo a la compañía complementar la gestión de logística inversa para este tipo de productos, mitigando efectos en el medio ambiente, responsabilidad social y mejorando su imagen corporativa.

( Demajorovic, Fernandes Augusto, & Saraiva De Souza, 2016) plantea que el modelo brasileño de logística inversa requiere entrar en el contexto de un país emergente, por lo tanto, analizaron los desafíos y oportunidades en la implementación del modelo brasileño RL para computadoras y celulares mediante una investigación cualitativa, empleando la metodología de los criterios teóricos de saturación o redundancia, realizando entrevistas, análisis documental y observación de cooperativas, reciclaje, y proveedores. Por medio del estudio identificaron algunos de los principales retos y perspectivas que involucran la ejecución RL en Brasil y en comparación con los modelos ya aplicados en otros países desarrollados y los países en desarrollo. Se pudo concluir que la implementación del modelo se enfrentará a una serie de barreras, incluyendo la cultura, la política, las dimensiones geográficas y tecnológicas.

La producción mundial de equipos eléctricos y electrónicos está creciendo, lo que ha traído la reducción de recursos y aumentando la contaminación. Muchos países han implementado modelos de gestión de RAEE los cuales precisan ser validados; En este sentido (Georgiadis & Besiou, 2010) aplican la metodología de dinámica de sistemas basándose en un modelo de una cadena de abastecimiento de ciclo cerrado (CLSC), pero incluyen otras variables como los factores que conforman las estrategias de sostenibilidad ambiental, las características operativas de la cadena de circuito cerrado, sus interacciones y el tipo de impacto ambiental y la sostenibilidad económica de un WEEE.

Durante el proceso de investigación hicieron entrevistas. Los resultados que obtuvieron fueron información y validación de acciones que los legisladores y gerentes de WEEE pueden implementar para ser sostenibles.

Otras de las investigaciones relacionadas con la dinámica de sistemas es la planteada por (Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013) donde estudian un modelo que simula la situación del sistema de gestión de residuos de los televisores en Bogotá. Los autores realizan un diagnóstico y análisis del manejo de los RAEE en la ciudad y por medio del software I Think, ejemplifican los flujos y stocks de los televisores que terminan siendo RAEE y materia prima de otras industrias. Las variables que incluyen en el modelo describen el flujo físico del ciclo de vida del televisor y plasman la cultura de la población Bogotana. Como resultado, el artículo expone que las políticas de recolección surtirán efecto sobre la cadena cuando modifiquen, formalicen y desarrollen esta industria.

El estudio de (Dasgupta, y otros, 2017) realiza predicciones de la producción de RAEE desde el año 2012 al 2025 y simulan distintos escenarios con alternativas de vertederos, mercado de segunda mano y reciclaje que permiten evaluar cómo se minimiza la producción de los

RAEE al aplicarlas. La herramienta empleada es la dinámica de sistemas y para desarrollar los diagramas, establecen unas hipótesis. Los resultados obtenidos arrojaron un mayor control sobre los RAEE y dieron la base para plantear una política para la gestión de estos residuos con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente.

Para ( Arroyo López, Villanueva Bringas, Gaytán Iniestra, & García Vargas, 2012) Con la generación de grandes volúmenes de e-waste nace la necesidad de estudiar la tasa de residuos retornados por las personas y la cantidad de computadoras recuperadas en una cadena de logística inversa empleando la metodología de la dinámica de sistemas, lo que permitió identificar el comportamiento de la recuperación en distintos escenarios, y como resultado analizar los macrofactores que lograrían un incremento en el volumen de computadoras recicladas.

En el trabajo desarrollado por (Simonetto, y otros, 2016) se presenta la evaluación de los impactos ambientales y económicos cuando se le extiende el ciclo de vida de las computadoras personales. El método de investigación fue la dinámica de sistemas; para el planteamiento del modelo se realizaron previamente entrevistas, estudios exploratorios e informes. Al finalizar la simulación, se validaron los resultados con datos históricos. Gracias al modelo y a su análisis se conoció que la remanufactura de las computadoras es una alternativa viable para la reutilización de ordenadores desechados.

La gestión de los RAEE se ha visto interrumpida por el mal manejo de algunas empresas frente a su responsabilidad, por lo tanto (Zhiduan , 2010) advirtió que la tercera etapa (take-back) de la logística inversa podría ser una oportunidad para tercerizar la responsabilidad a una empresa especializada en la logística inversa de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, y así poder convertir la recogida y el procesamiento en una industria rentable. La dinámica de sistemas se emplea para demostrar la viabilidad de las hipótesis con respecto a la rentabilidad de la tercerización y los resultados señalaron que este sistema será beneficioso práctico y protegerá al medio ambiente.

A través de la dinámica de sistemas ( Sinha-Khettrival, Widmer, Schwaninger, & Hilty, 2012) buscan validar y mejorar dos modelos que se utilizan para evaluar los flujos de masa de los aparatos cuando termina su ciclo de vida. La metodología empleada fue la investigación de datos históricos sobre ventas, stocks y estimación de flujos. Los resultados obtenidos determinaron que ambos modelos son simples y pueden ser útiles para establecer sistemas de recogida, debiendo ser actualizados cada año para tener mayor precisión; sin embargo, ninguno de los dos modelos proporciona información sobre las decisiones de disposición y alternativas de los consumidores con respecto a los residuos.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

### 4.2.1 Manejo de los RAEE

Según los lineamientos técnicos (Ministerio de Ambiente, 2010) para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, las etapas que se llevan a cabo durante el manejo son: recolección, almacenamiento, transporte y disposición final.

I. Para un punto de retoma y recolección se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Instalarse en un lugar techado protegido de las condiciones del ambiente.
- Depositar temporalmente los RAEE en contenedores, sobre estibas, o en cajas de rejas o de madera, facilitando su carga en el transporte hacia el punto de almacenamiento, por un tiempo limitado de acuerdo a las características de los contenedores y a las condiciones del sitio. Estos recipientes deben estar debidamente señalizados.
- Realizar la clasificación por diferentes categorías o tipos de aparatos para facilitar su posterior entrega a empresas especializadas.
- Establecer mecanismos de control para evitar hurtos.
- Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que se depositen en el punto de recolección, no deben ser desensamblados ni manipulados.

II. Los siguientes son requerimientos básicos para las instalaciones de almacenamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos:

**Protección contra la intemperie:** el almacenamiento debe realizarse a temperatura ambiente y protegido de la intemperie, con el objeto de evitar que agentes contaminantes puedan lixiviar al ambiente debido a los efectos del tiempo y para permitir el posterior reacondicionamiento o reutilización de los equipos.

**Pisos:** impermeables para evitar infiltraciones y contaminación de los suelos.

**Capacidad:** adecuada para el manejo de todo el inventario.

**Protección contra acceso no autorizado:** el desecho electrónico se debe almacenar de manera tal que no se permita el ingreso de personas no autorizadas a las instalaciones para evitar que se agreguen o sean extraídos equipos en desuso o piezas sin supervisión.

**Registros:** mantener registros de inventarios, tanto de equipos en desuso enteros, como de piezas recuperadas.

**Procedimientos:** se deben documentar los procedimientos que se llevan a cabo en el sitio de almacenamiento.

**Personal:** el personal debe estar capacitado para cumplir con los procedimientos del almacenamiento.

**Almacenamiento y empaque:** en general, los RAEE se deben almacenar sobre estibas, o en cajas de rejas o de madera, facilitando su almacenamiento, carga y transporte hacia procesos posteriores.

### III. Transporte y logística

#### **Condiciones generales para el transporte de RAEE**

- Se debe garantizar siempre la protección contra la intemperie.
- Durante el transporte se debe evitar que las personas no autorizadas tengan acceso a la carga, con el fin de evitar la adición o pérdida de partes o piezas de equipos sin supervisión.
- La carga en el vehículo debe estar debidamente empacada, acomodada, estibada, apilada, sujeta y cubierta de tal forma que no presente peligro para la vida de las personas y el medio ambiente. Para este fin se recomienda que todo transporte de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de tamaño mediano o pequeño se realice en cajas de madera, de cartón grueso o de rejas metálicas.
- En caso de transportar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en estibas, se debe envolver toda la estiba con una película plástica cuando esté cargada.
- Es recomendable no poner más de tres capas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en las estibas y asegurar que la carga no sobresalga de las cajas.
- En caso de ofrecer los servicios de recolección y transporte de equipos de impresión y fotocopia en desuso, tener un sistema de recolección de derrames de tinta para evitar contaminación del medio ambiente y de los demás componentes conjuntamente transportados.
- Portar como mínimo dos (2) extintores tipo multipropósito, uno en la cabina y los demás cerca de la carga, en sitio de fácil acceso para que se pueda disponer de él rápidamente en caso de emergencia, y contar con personal preparado para su utilización.

#### IV. Disposición final.

La ley también estipula que los RAEE son residuos de manejo diferenciado y prohíbe su disposición final en rellenos sanitarios, de ahí que deben ser recolectados y gestionados por los productores y priorizar su aprovechamiento mediante empresas gestoras que cuenten con licencia ambiental para ello. Es decir, esta legislación busca incentivar el aprovechamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos desde una perspectiva económica y social y promover la participación e integración de todos los actores involucrados en la elaboración de las estrategias, planes y proyectos que desarrollen la gestión integral de los RAEE, entre otros aspectos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

##### 4.2.1.1 Clasificación de RAEE

*Tabla 3 Categorización de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) en la UE según la Directiva RAEE de 2002.*

Categorías	AEE considerados en la categoría	Clasificación común
1. Grandes electrodomésticos	Lavadoras, secadoras, neveras, refrigeradores, equipos de aire acondicionado y calefacción, ventiladores, cocinas, hornos eléctricos, hornos microondas, etc.	Electrodomésticos grandes de la línea blanca
2. Pequeños electrodomésticos	Planchas, aspiradoras, cafeteras, tostadoras, cuchillos eléctricos, máquinas de afeitar, secadoras de cabello, etc.	Electrodomésticos pequeños de la línea blanca
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	Computadores de escritorio, computadores portátiles, teléfonos fijos y celulares, agendas electrónicas, máquinas de escribir eléctricas y electrónicas, máquinas de fax, fotocopadoras, impresoras, calculadoras, etc.	Electrodomésticos de la línea gris

4. Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos	Radios, televisores, reproductores de VCR/DVD/CD, cámaras de video, instrumentos musicales, amplificadores de sonido, etc.	Electrónica de consumo de la línea marrón
5. Aparatos de alumbrado	Bombillas fluorescentes rectas, circulares y compactas, lámparas de sodio y haluros metálicos, luminarias (excepto las bombillas incandescentes).	
6. Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura)	Taladros, sierras, máquinas de coser, máquinas para torneear, aserrar, pulir, cortar, atornillar, soldar, rociar, cortar el césped y jardinería, etc. (excepto las grandes máquinas industriales fijas).	
7. Juguetes o equipos deportivos y de ocio	Trenes eléctricos o carros de carreras, consolas portátiles, videojuegos, máquinas tragamonedas, material deportivo con componentes electrónicos, etc.	
8. Aparatos médicos (con excepción de todos los productos implantados e infectados)	Equipos de laboratorio y para radioterapia; equipos de cardiología, diálisis, ventilación pulmonar, medicina nuclear, aparatos de laboratorio para diagnóstico in vitro, etc.	
9. Instrumentos de vigilancia y control	Detectores de fuego, termostatos, reguladores de calefacción, aparatos de medición, pesaje y reglaje para el hogar o laboratorios, otros instrumentos de control, etc.	

10.	Máquinas expendedoras	Máquinas expendedoras de productos sólidos, bebidas frías y calientes, y dinero.	
-----	-----------------------	--	--

Fuente: Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2003), adaptación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo.

#### 4.2.2 Gestión de logística inversa

Según (Mora García, 2010) La logística inversa es el macroproceso de planificar, administrar y controlar el flujo de productos y materiales desde el lugar de consumo hasta el punto de origen, incluyendo la información asociada desde el sitio de destino hasta el fabricante o proveedor; con el propósito de adecuar los productos en el lugar indicado y crear valor económico, ecológico, legal o de imagen, entre otros

#### **Motivación para la logística inversa**

La logística inversa gestiona el retorno de mercancías en la cadena de suministro, de la forma más efectiva y económica posible. Se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos; así como de los procesos de retorno en excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales. Incluso se adelanta al fin de vida del producto, con objeto de darle salida en mercados con mayor rotación. Directivas comunitarias, además, obligan o van a obligar próximamente a la recuperación o reciclado de muchos productos - bienes de consumo, envases y embalajes, componentes de automoción, material eléctrico y electrónico-, lo que va a implicar en los próximos años una importante modificación de numerosos procesos productivos y, además, una oportunidad como nuevo mercado para cantidades de operadores de transporte, almacenaje y distribución.

Dentro de las razones o justificaciones para la aparición de la logística inversa, se destacan tres en las que se puede fundamentar.

- Costo-Beneficio: productos mejores con costo de producción más bajo, recuperación del valor de envases, empaques, embalajes y unidades de manejo reciclables.
- Exigencias legales: derivados de la protección a la salud y del ambiente, de consideraciones por costos de procesamiento de residuos, etc.
- Responsabilidad social: generalmente impulsado por organizaciones no gubernamentales y asociaciones de consumidores que apoyados en su poder de compra buscan productos más seguros y ambientalmente amigables.

## **Tendencias de la logística inversa**

- El ciclo de los productos es más corto.
- Más responsabilidad de las empresas productoras (ISO 14.000).
- Alta frecuencia de envíos y manipulación de productos (retornos).
- Aumento de los desechos y devoluciones.
- Aumento de legislaciones ambientales.
- Agotamiento de recursos naturales.

## **Procesos involucrados en la logística inversa**

Los procesos en logística inversa se enfocan en cinco objetivos claves:

- **Procuración y compras.** Implica la procuración, desarrollo de proveedores y la adquisición de materias primas, componentes, materiales para envase, empaque, embalaje y unidades de manejo que sean «amigables con el ambiente».
- **Reducción de insumos vírgenes.** Implica actividades de ingeniería de producto y re-entrenamiento de los recursos humanos con el propósito de valorar actividades de reutilización de materiales sobrantes, preferir materiales de origen reciclado, escoger contenedores, embalajes, unidades de manejo, empaques y envases reutilizables y reciclables, impulsar la cultura del «retorno».
- **Reciclado.** Es necesario desarrollar políticas de reciclado respetando el desempeño o estándares del producto: utilizar materiales de origen reciclado, y reciclables; explorar innovaciones tecnológicas que permiten utilizar materiales reciclados; financiar estudios para reducir el uso de materias primas vírgenes.
- **Sustitución de materiales.** El incremento de la tasa de innovación en procesos de reciclado debe impulsar la sustitución de materiales, en particular de los más pesados por otros más ligeros con igual o superior desempeño.
- **Gestión de residuos.** Las políticas de procuración de materiales deben evaluar la tasa de residuos en la utilización de materiales; el manejo de residuos es un costo no despreciable; también puede ser necesario tener políticas de aceptación de muestras, si las exigencias de gestión de los residuos de éstas, o simplemente su disposición por rechazo, es costosa. La logística inversa es sin duda una filosofía que cualquier empresa debe agregar a su entorno, debido a todos los factores mencionados y ante la globalización que se está dando, es importante tener una planeación estratégica de logística inversa.

Coordinación logística de los sistemas de gestión



Para (Cabeza, 2012) la coordinación logística de la gestión de los RAEE tiene plataformas informáticas que actúan como punto de encuentro y coordinación de los principales agentes que participan en el reciclaje: los SIG autorizados, las administraciones municipales o regionales y los puntos limpios. De esta manera se optimizan recursos, se homogeniza la información, se facilita la facturación de los entes locales a los SIG y se resuelve con mayor eficacia las posibles incidencias.

#### 4.2.3 Dinámica de sistemas

Autores como (Aracil, 1995) definen la dinámica de sistemas como una metodología ideada para resolver problemas concretos, que se presentan en determinadas situaciones en las que los retrasos en la transmisión de información, unido a la existencia de estructuras de realimentación, da lugar a modos de comportamiento indeseables, normalmente de tipo oscilatorio.

Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados; se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias. Por ejemplo, en sistemas sociológicos ha encontrado multitud de aplicaciones, desde aspectos más bien teóricos como la dinámica social de Pareto o de Marx, hasta cuestiones de implantación de la justicia. Un área en la que se han desarrollado importantes aplicaciones es la de los sistemas ecológicos y medioambientales, en donde se han estudiado, tanto problemas de dinámica de poblaciones, como de difusión de la contaminación. Otro campo interesante de aplicaciones es el que suministran los sistemas energéticos, en donde se ha empleado para definir estrategias de empleo de los recursos energéticos, al igual que se ha utilizado para problemas de defensa, simulando problemas logísticos de evolución de tropas, y en la industria.

La estructura de los modelos en la dinámica del sistema consta de los inventarios y los flujos. Por ello (Simonettoa, y otros, 2016) definen la dinámica de sistemas como un método que combina los flujos y los inventarios en una estructura computacional a simular. Los inventarios se refieren a las variables en el modelo que se acumulan en el sistema, mientras que los flujos son las decisiones o políticas del sistema. Estos componentes pueden ser organizados en forma de relaciones de causa y efecto, llamado retroalimentación equilibrio o el fortalecimiento, y están sujetos a intervalos de tiempo en el sistema bajo análisis.

La gestión de los desechos electrónicos son sistemas complejos, dinámicos y multifacéticos dependiendo no sólo de la tecnología disponible, sino también de factores económicos y sociales. La metodología de la dinámica del sistema proporciona una base para el desarrollo de modelos de computadora para hacer lo que la mente humana no puede hacer eso es analizar racionalmente la estructura, las interacciones y modo de comportamiento de los sistemas socioeconómicos, tecnológicos y ambientales complejos.

La metodología de la dinámica del sistema se basa en los conceptos de retroalimentación. Los bucles múltiples no lineales y los sistemas complejos de tiempo retardado se pueden manejar fácilmente siguiendo este enfoque.

En la dinámica de sistemas es más adecuado para desarrollar los problemas asociados con procesos continuos donde la retroalimentación significativamente afecta el comportamiento de un sistema, produciendo cambios dinámicos en el comportamiento del sistema. Modelos discretos de sucesos del sistema (DES), en contraste, son mejores en proporcionar un análisis detallado de sistemas que implican procesos lineales y modelar cambios discretos en el comportamiento del sistema. (Dasgupta, y otros, 2017)

Entre las metodologías que han demostrado su utilidad para el diseño de redes de logística inversa está la dinámica de sistemas. Cuya principal función es la de analizar la evolución de sistemas complejos y de gran escala a través del tiempo, resulta útil para analizar temas difíciles de entender dentro la administración de operaciones, tales como la gestión de los RAEE puesto que estos son bastante complejos (múltiples variables, interrelaciones imprecisas y procesos de retroalimentación) y este tipo de modelos proveen explicaciones razonables para las relaciones involucradas y los resultados de posibles intervenciones. (Arroyo López, Villanueva Bringas, Gaytán Iniestra, & García Vargas, Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos Un modelo de dinámica de sistemas para la red de logística inversa, 2014)

### **4.3 MARCO LEGAL**

En Colombia la ley 1672 del 19 de julio de 2013 “establece los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos”.

Dentro de la ley se especifica la responsabilidad de cada uno de los implicados en la gestión y tratamiento de los RAEE como son, el gobierno nacional, los productores, los comercializadores, usuarios o consumidores y los gestores. Además, se establecen los componentes de la política y los lineamientos que se llevarán a cabo para darle cumplimiento.

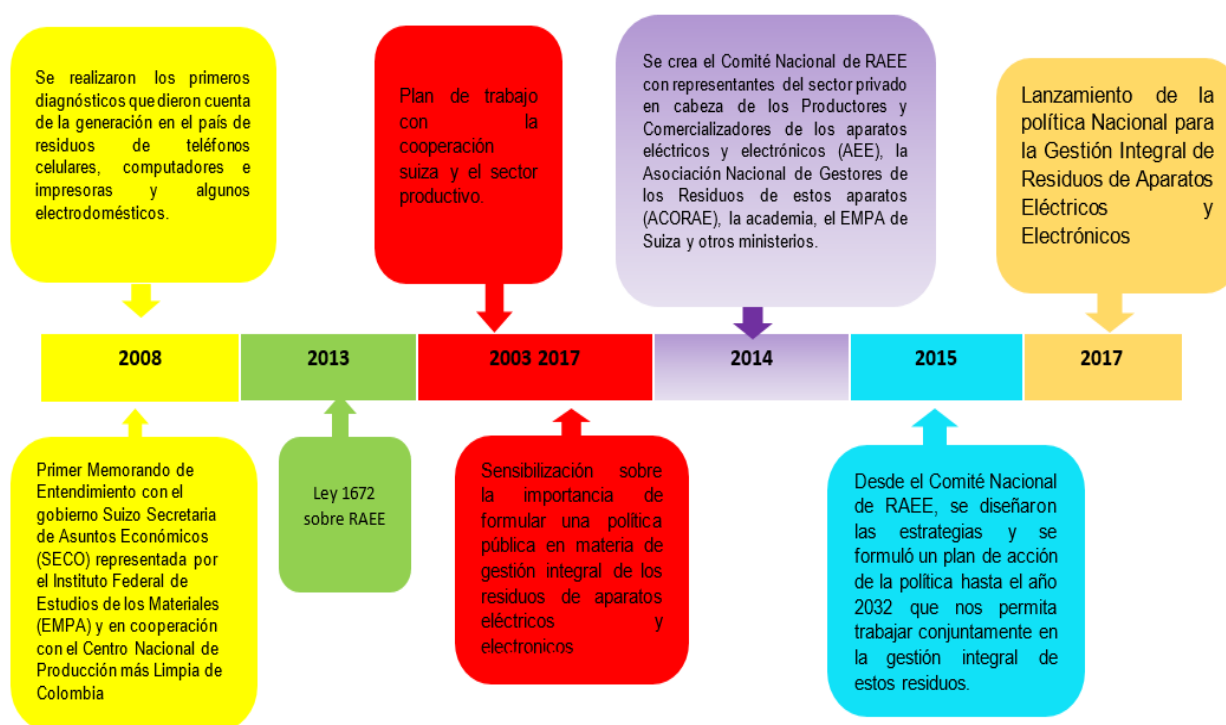
Por otra parte, en el Plan Nacional de desarrollo 2014-2018 Todos por un nuevo país, se determina que se reglamentará e implementará la ley de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos(RAEE). Política Nacional RAEE 2017.

En cuanto a los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas, computadores y/o periféricos, pilas y/o acumuladores se establecen las resoluciones 1511 del 5 de agosto de 2010, 1512 del 5 de agosto de 2010 y 1297 de julio 8 de 2010, expedidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Proyecto Decreto RAEE.

La Política Nacional para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos fue lanzada en el 2017 y se formuló de acuerdo con los lineamientos y objetivos establecidos por la Ley 1672 de 2013 sobre RAEE reuniendo en su diseño a los productores, fabricantes e importadores de este tipo de residuos, así como a los comercializadores, la sociedad civil en general - los consumidores, la academia - y a los municipios, autoridades ambientales y autoridades del orden nacional. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017)

En la Ilustración 1. Se observa una línea de tiempo de los acontecimientos relacionados con la gestión de los RAEE.

*Ilustración 1 Línea de tiempo, acontecimientos gestión de los RAEE.*



Fuente:(Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017)

## **5. DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

Este capítulo tiene como finalidad exponer la metodología empleada para cumplir con los objetivos específicos propuestos en un modelo de simulación dinámica de la logística inversa de recolección de RAEE en el municipio de Zarzal Valle del Cauca, enfocándose en la línea marrón específicamente televisores y la línea gris especialmente computadores y celulares.

1. Identificar los factores relevantes en la operación actual de recolección de los RAEE en el municipio de Zarzal, determinando las variables necesarias del modelo según la bibliografía asociada a los modelos de dinámica de sistemas.

El paso para dar cumplimiento al primer objetivo es realizar encuestas sobre manejo de RAEE a todos los sitios de recolección no convencionales y puntos de reparación de aparatos eléctricos y electrónicos del municipio de Zarzal con el fin de obtener datos básicos que permitan ser evaluados además, de realizar una revisión de la literatura que permita identificar diferentes modelos que contengan las variables claves determinadas, para esto se ejecutará una revisión bibliográfica en las bases de datos de la universidad, trabajos de grado, tesis y libros que aborden el tema del presente trabajo, haciendo un análisis comparativo que facilite la definición del modelo, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de los mismos.

2. Construir un modelo de simulación dinámica que integre los elementos más relevantes en la recolección de los RAEE del municipio de Zarzal.

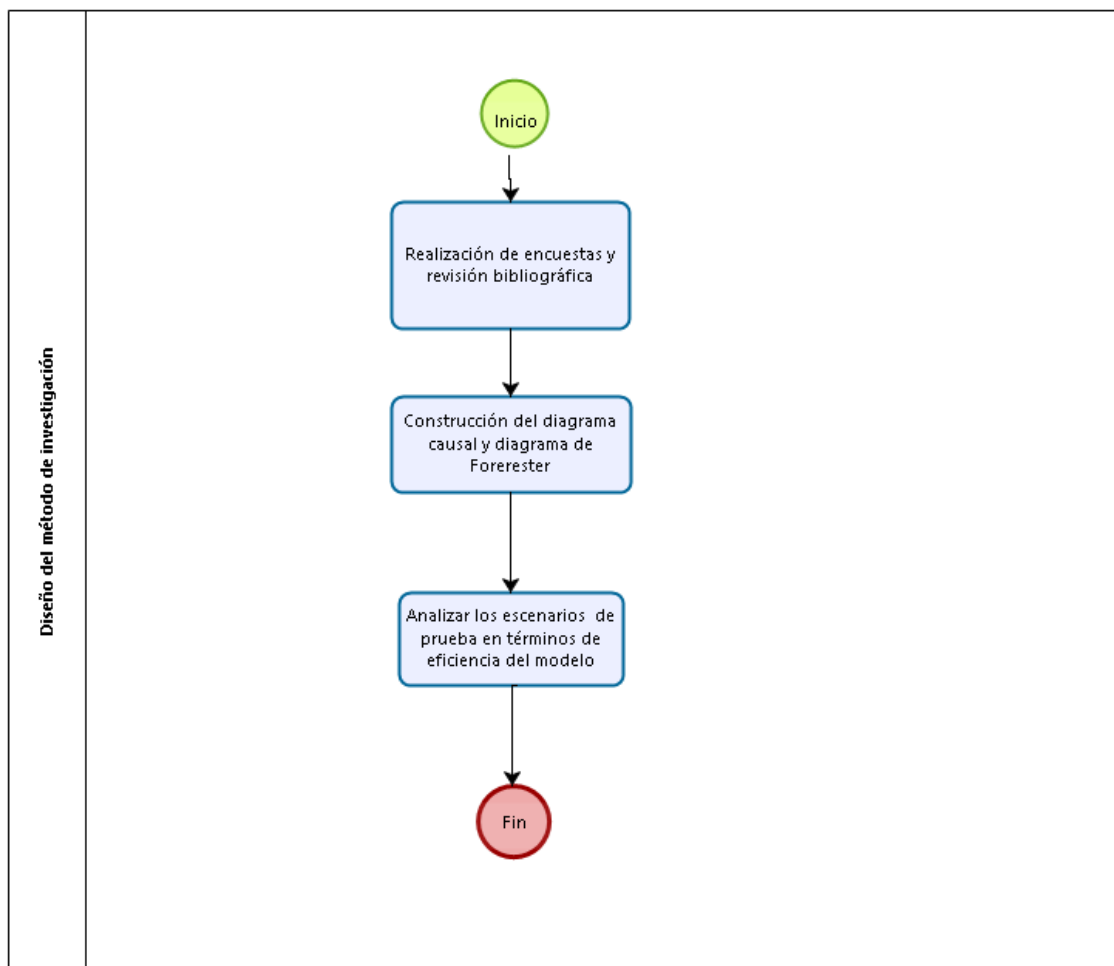
Con las variables obtenidas en la información recopilada en el primer objetivo se procede a construir un diagrama causal, para analizar las interrelaciones del problema que presenta actualmente la recolección de los RAEE en el municipio caso de estudio, a partir de este se realiza el diagrama de Forrester y por medio del mismo se hacen las ecuaciones para validar el modelo.

3. Analizar los escenarios de prueba en términos de eficiencia del modelo para la formulación de estrategias de gestión.

Para dar cumplimiento al cuarto objetivo específico se debe analizar la información obtenida en el tercer objetivo, identificando cuales son aquellos parámetros que tienen mayor incidencia en el impacto ambiental generado en la recolección de residuos y definiendo lineamientos, generales en educación, responsabilidad social empresarial, acciones estatales y comunitarias para promover en las personas la formación de hábitos, y comportamientos seguros; dichas acciones están encaminadas a alcanzar un manejo adecuado de los RAEE.

Para una mayor comprensión del diseño metodológico, a continuación, se presenta una gráfica con los pasos del proceso:

Gráfica 1. Diseño del método de investigación



## **6. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELEVANTES EN LA RECOLECCIÓN DE LOS RAEE EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL**

El rápido crecimiento urbano incrementa la demanda de bienes de consumo y el aumento en la adquisición de equipos eléctricos y electrónicos, generando esto la necesidad de desarrollar investigaciones y/o trabajos alrededor del control y gestión de los RAEE.

Por ello en el presente capítulo, se realiza una breve caracterización del control y la gestión actual de los RAEE en el municipio objeto de estudio, para identificar el comportamiento del proceso que concierne a los mismos, con el fin de describir detalladamente la situación actual del sistema, utilizando la encuesta como herramienta base.

La técnica de encuesta es ampliamente utilizada como procedimiento de investigación, ya que permite obtener y elaborar datos de modo rápido y eficaz. La información se obtiene mediante una observación indirecta de los hechos, a través de las manifestaciones realizadas por los encuestados, al igual que permite aplicaciones masivas, que mediante técnicas de muestreo adecuadas pueden hacer extensivos los resultados a comunidades enteras.

Para determinar el tamaño de la muestra de los puntos de reparación se tuvieron en cuenta la población y los cálculos estadísticos como puntos de referencia para desarrollar la encuesta.

Antes de calcular el tamaño de la muestra se determinaron los siguientes aspectos:

**Tamaño de la población.** Una población es una colección bien definida de objetos o individuos que tienen características similares. Para la investigación, el tamaño de la población fue  $N=24$  (todos los lugares de reparación identificados en el municipio).

**Nivel de confianza.** Son intervalos aleatorios que se usan para acotar un valor con una determinada probabilidad alta. El nivel de confianza adoptado es del 95% debido a que el tamaño de la población es muy pequeño y se debía garantizar que la totalidad del tamaño de la población fuese encuestada.

**La desviación estándar.** Es un índice numérico de la dispersión de un conjunto de datos (o población).

Para un nivel de confianza del 95% el error máximo a utilizar es del 3% dado que no es una variable crítica asociada a la calidad se considera que este valor es bastante riguroso para el análisis que se está haciendo por eso se adopta para obtener un análisis de muestra representativo.

Probabilidad de éxito + probabilidad de fracaso=1

Cálculo del tamaño de la muestra desconociendo el tamaño de la población

Fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se desconoce el tamaño de la población es la siguiente	Fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se conoce el tamaño de la población es la siguiente:
$n_0 = \frac{z^2 * PQ}{e^2}$	$n' = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}}$
En donde, Z= Nivel de confianza P= Probabilidad de éxito o proporción esperada. Q=Probabilidad de fracaso. e = precisión (error máximo admisible en términos de proporción)	En donde, n'= tamaño de la muestra conociendo tamaño de la población N = tamaño de la población. n0=tamaño de la muestra cuando se desconoce el tamaño de la población.

Cálculos:

N= Tamaño de la población 20

1- $\alpha$ = 95%                      z= 1,96

p+Q= 1                          e = 3%

Q= 1-p=1-0,5=0,5              p = 0,5

$$n_0 = \frac{(1,96^2) * 0,5 * 0,5}{(0,003)^2} = \frac{3,84 * 0,25}{0,0009} = \frac{0,96}{0,0009} = 1.067$$

$$n' = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}} = \frac{1,067}{1 + \frac{(1,067 - 1)}{20}} = \frac{1,067}{1 + \frac{1,066}{20}} = \frac{1,067}{1 + 53,3}$$

$$= \frac{1,067}{53,3} = 20,01$$

$$n' = 20,01$$

El tamaño de la muestra para aplicar la encuesta a los puntos de reparación arrojó un  $n'=20.01$ , lo cual significa que se debe encuestar al 100% de la población en estudio, en este caso se refiere a 20 encuestas.

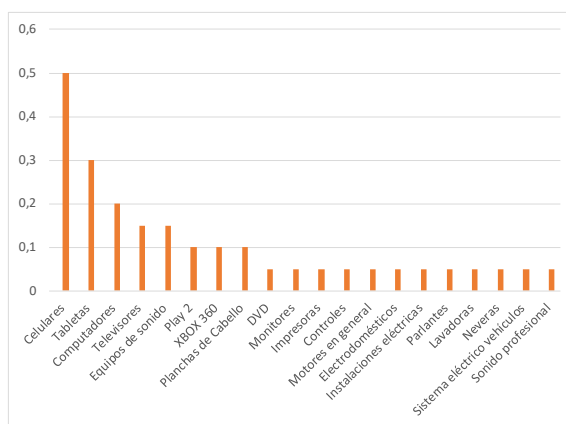
En esta etapa se realizaron dos tipos de encuesta, la primera consta de la aplicación de 10 preguntas buscando la obtención de información sobre los lugares de reparación de los aparatos eléctricos y electrónicos; la segunda está estructurada con 13 preguntas donde se interroga a los 4 puntos de almacenamiento (chatarrización) existentes en el municipio de Zarzal.

El objetivo de las encuestas es identificar aquellos factores relevantes en la operación actual de la recolección de los RAEE en el municipio objeto de estudio, a partir del análisis de los resultados se concluirá sobre factores relevantes tales como: frecuencia de reparación, motivos de reparación, disposición final, entre otras concernientes a los puntos de reparación y en cuanto a los puntos de almacenamiento a factores tales como clasificación de los RAEE, tratamiento, manipulación, aprovechamiento, entre otros.

### Resultados encuesta N°1 dirigida a sitios de reparación del municipio de Zarzal:

#### 1. Aparatos eléctricos y electrónicos que llevan a reparar con mayor frecuencia

Celulares	50%
Tabletas	30%
Computadores	20%
Televisores	15%
Equipos de sonido	15%
Play 2	10%
XBOX 360	10%
Planchas de Cabello	10%
DVD	5%
Monitores	5%
Impresoras	5%
Controles	5%
Motores en general	5%
Electrodomésticos	5%
Instalaciones eléctricas	5%
Parlantes	5%
Lavadoras	5%
Neveras	5%
Sistema eléctrico vehículos	5%
Sonido profesional	5%



R/. Se puede concluir que actualmente la mayor frecuencia de reparación la presentan los celulares con un 50%, seguidos por las tabletas 30% y los computadores con 20%, representando estos el 15% de los 20 aparatos eléctricos y electrónicos considerados, mientras que el 85% de los aparatos restantes tienen una frecuencia media del 6% en reparación.



2. En promedio al mes ¿cuántos equipos llevan a reparar?

Punto de reparación encuestado	N° promedio de aparatos eléctricos y electrónicos reparados al mes
1	20
2	30
3	25
4	15
5	200
6	10
7	40
8	60
9	50
10	13
11	100
12	100
13	50
14	40
15	30
16	250
17	50
18	72
19	25
20	150
<b>Total</b>	<b>1330</b>

R/ El promedio mensual de reparación en cada punto encuestado es de 66 aparatos.

En los 20 sitios de reparación se repara un total de 1330 equipos al mes.

2.1. De los aparatos que llevan a reparar ¿Cuántos no han podido ser reparados?

Punto de reparación encuestado	N° promedio de aparatos eléctricos y electrónicos que no han podido ser reparados al mes
1	2
2	5
3	5
4	3

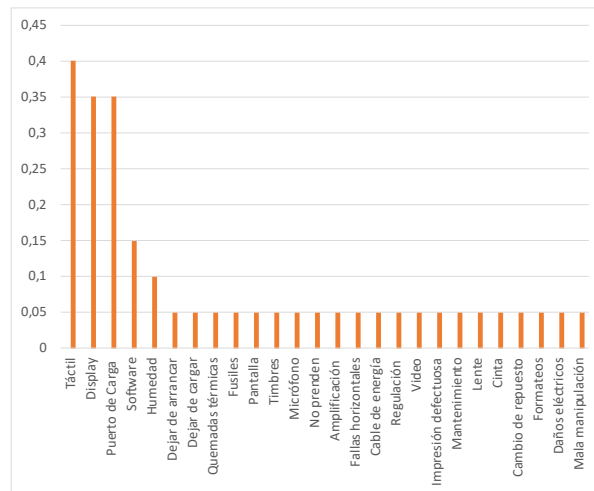
5	50
6	2
7	5
8	10
9	5
10	2
11	15
12	20
13	5
14	10
15	5
16	20
17	10
18	20
19	5
20	20
<b>Total</b>	<b>219</b>

R/ El promedio mensual de aparatos que no han podido ser reparados en cada punto encuestado es de 11 aparatos.

En los 20 sitios de reparación no se han podido reparar un total de 219 equipos al mes.

3. Los motivos más recurrentes por los cuales solicitan la reparación de los aparatos eléctricos y electrónicos.

Táctil	40%
Display	35%
Puerto de Carga	35%
Software	15%
Humedad	10%
Dejar de arrancar	5%
Dejar de cargar	5%
Quemadas térmicas	5%
Fusiles	5%
Pantalla	5%
Timbres	5%
Micrófono	5%
No prenden	5%
Amplificación	5%
Fallas horizontales	5%
Cable de energía	5%
Regulación	5%
Video	5%
Impresión defectuosa	5%
Mantenimiento	5%
Lente	5%
Cinta	5%
Cambio de repuesto	5%
Formateos	5%
Daños eléctricos	5%
Mala manipulación	5%



R/: El motivo principal de reparación es el daño en el táctil representando el 40% de las veces, seguido por el display con un 35% y el puerto de carga con el 35%, el resto de motivos de reparación se presentan con una frecuencia inferior al 15%.

4. Considera usted que los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos son peligrosos

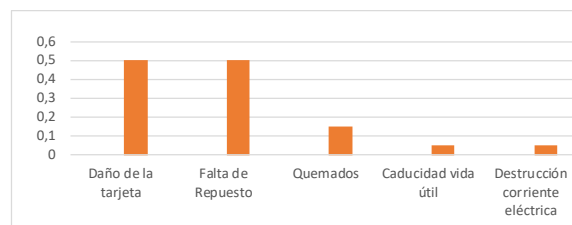
No 40%

Si 60%

R/: El 40% de los encuestados considera los RAEE No peligroso y el restante 60% los considera peligrosos.

5. ¿Por qué motivo los aparatos en reiteradas ocasiones no han podido ser reparados?

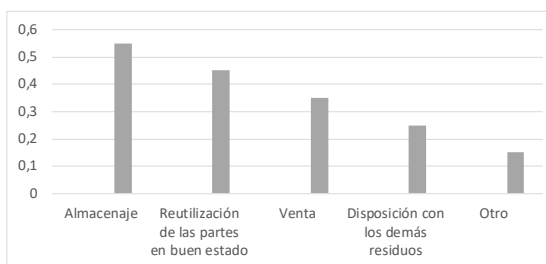
Daño de la tarjeta	50%
Falta de Repuesto	50%
Quemados	15%
Caducidad vida útil	5%
Destrucción corriente eléctrica	5%



R/: Los aparatos eléctricos y electrónicos no han podido ser reparados debido a el daño de las tarjetas y por falta de repuesto con una participación del 50 % respectivamente, mientras que los otros motivos están alrededor del 10 %.

## 6. ¿Cuál es la disposición final que le da a los residuos?

Almacenaje	55%
Reutilización de las partes en buen estado	45%
Venta	35%
Disposición con los demás residuos	25%
Otro	15%
Disposición en puntos de recolección de RAEE	5%



R/: En la mayoría de ocasiones (55%) la disposición final de los aparatos corresponde al almacenamiento, seguido de la reutilización de las partes en buen estado en un 45% de las veces, por otro lado, la disposición en puntos de recolección corresponde solo al 5%.

### 1. Si la respuesta es venta ¿quién realiza la compra?

R/: De los 20 puntos de reparación encuestados 7 respondieron que realizan la venta a las chatarrerías, los demás almacenan.

### 2. Si la respuesta es almacenaje ¿Por qué almacenan?

R/: De los 20 puntos de reparación encuestados 7 almacenan con el propósito de reutilización de repuestos y 2 manifestaron que lo hacen con el fin de entregarlos a entidad recolectora de basuras del municipio.

## 9. ¿Considera usted que es importante que alguna entidad se encargue de recolectar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

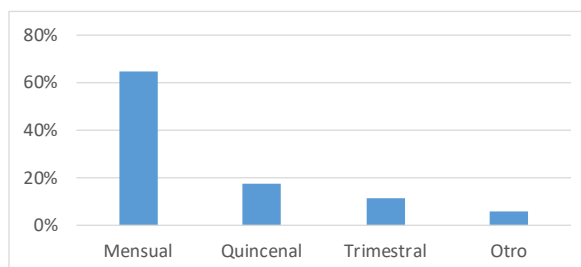
Si 85%

No 15%

R/: El 85% de los reparadores considera que una entidad debe encargarse de recolectar estos residuos, el restante 15% considera que no se debe encargar a ninguna entidad.

### 10. Si la respuesta es afirmativa, de acuerdo a su experiencia ¿cada cuánto debería de realizar la recolección?

Mensual	65%
Quincenal	18%
Trimestral	12%
Otro	6%
Diaria	0%
Semanal	0%



R/: El 65% de los reparadores que contestaron afirmativamente en la pregunta anterior, consideran que la recolección de aparatos eléctricos y electrónicos se debe realizar mensualmente.

Resultados encuesta N°2 dirigido a los sitios no convencionales:

1. ¿Clasifica usted los diferentes residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que llegan al establecimiento?

Si 50%  
No 50%

R/ El 50% de los sitios no convencionales clasifica los diferentes residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y el otro 50% no lo hace

2. Si la respuesta es afirmativa ¿Cómo realiza esta clasificación?

R/ Los encuestados que contestaron afirmativamente en la pregunta anterior respondieron que se separa aprovechando los metales tales como hierro, cobre, aluminio.

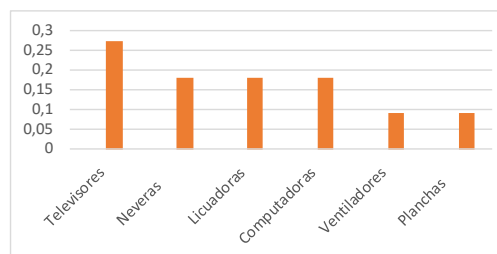
3. ¿Ha recibido capacitaciones o tiene conocimiento acerca del tratamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Si 0%  
No 100%

R/ El 100% de los sitios no Convencionales, no ha recibido capacitaciones acerca del tratamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, siendo esto a que en el municipio no se cuenta con ningún tipo de política a cerca de control y gestión de los RAEE.

4. ¿Cuáles residuos de aparatos eléctricos y electrónicos llegan con más frecuencia a su establecimiento?

Televisores	27,30%
Neveras	18,20%
Licadoras	18,20%
Computadoras	18,20%
Ventiladores	9,00%
Planchas	9,10%



R/: El aparato que más se desecha en los sitios de recolección son los televisores con una participación del 27,3 %, seguidos por neveras, licuadoras y computadoras con un 18,2 % respectivamente.

5. ¿Conoce los peligros que pueda tener la manipulación de estos residuos?

Si 75%  
No 25%

R/ El 75% de los sitios no convencionales conoce los peligros que tiene la manipulación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, el restante 25% no los conoce.

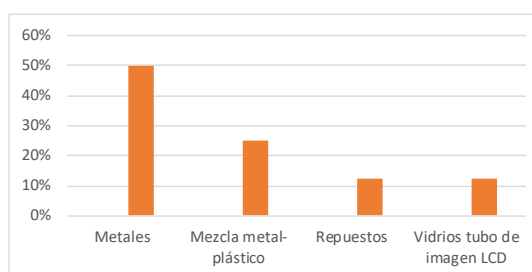
6. ¿Realiza desensamble a los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos?

Si 100%  
No 0%

R/ El 100% de los sitios no convencionales realiza desensamble a los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos.

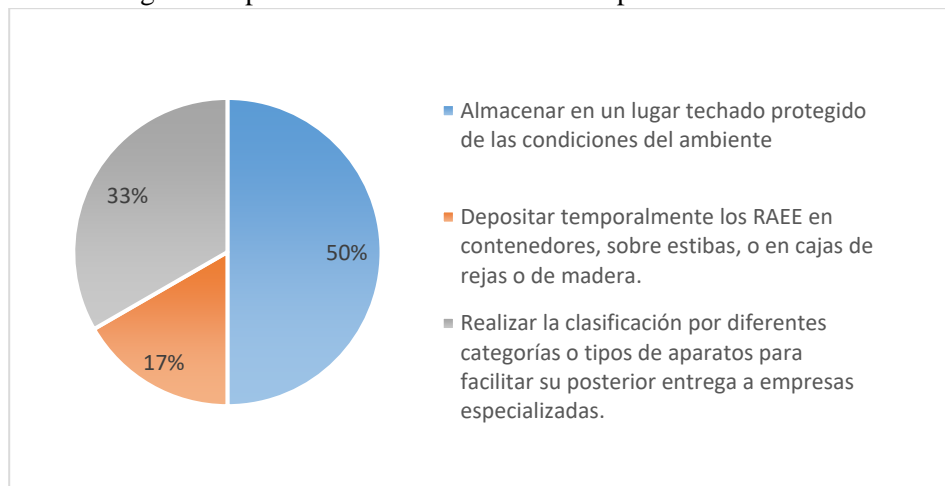
7. Si la respuesta es afirmativa, ¿qué tipo de materiales aprovecha usted de estos residuos?

Metales	50,0%
Mezcla metal-plástico	25,0%
Repuestos	12,5%
Vidrios tubo de imagen LCD	12,5%



R/ El 50% de los sitios no convencionales aprovecha los diferentes metales de los aparatos eléctricos y electrónicos.

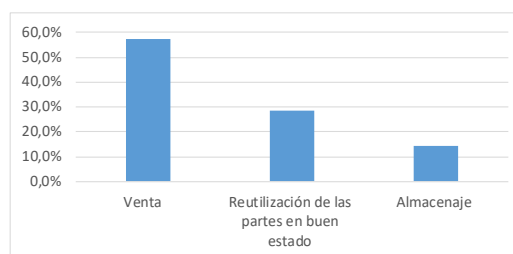
8. ¿Cuáles de los siguientes procedimientos tiene en cuenta para almacenar los residuos?



R/: El 50% de los sitios no convencionales almacena los residuos en un lugar techado protegido de las condiciones del ambiente.

9. ¿Cuál es la disposición final que le da a los residuos?

Venta	57,1%
Reutilización de las partes en buen estado	28,6%
Almacenaje	14,3%



R/ El 57,1% de los sitios no convencionales vende los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, mientras que el 28,6% corresponde a reutilización de las partes en buen estado, y el 14,3 % con finalidad de almacenamiento.

10. Si la respuesta es venta ¿quiénes realizan la compra?

R/ La compra la realizan diferentes entidades que se encuentran ubicadas en Tuluá, La Unión y Pereira.

11. Si la respuesta es almacenaje, ¿Por qué razón se almacenan?

R/ Se almacenan para vender como repuesto, y se almacenan para evitar mayor contaminación.

12. ¿Considera usted que es importante que alguna entidad se encargue de recolectar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Si	25%
No	75%

R/ El 75% de los sitios no convencionales considera que una entidad no se debe encargar de recolectar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

13. Si la respuesta es afirmativa, de acuerdo a su experiencia ¿cada cuánto debería de realizar la recolección?

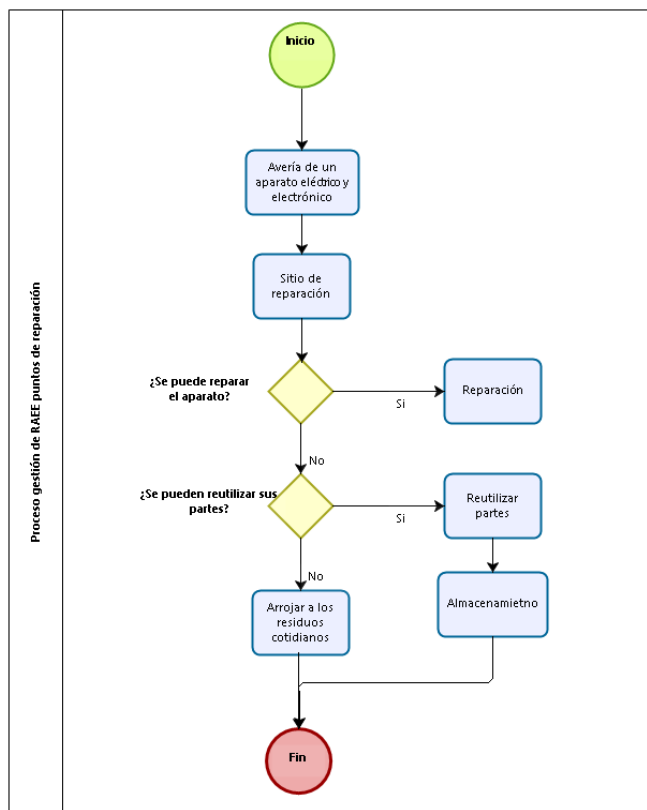
Mensual	100%
---------	------

R/La totalidad de las personas que contestaron afirmativamente en la pregunta anterior contestaron que se debería hacer mensualmente la recolección.

Como conclusión a partir del análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de las encuestas, se visualiza con claridad cómo funciona el proceso de control y gestión de los RAEE en el municipio de Zarzal. Entre los puntos de falencia del sistema como el almacenamiento, claramente se constató que no se cuenta con centros destinados a tal fin, ni adecuados para la disposición de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, al igual que no existen políticas que permitan la ejecución de procesos de gestión y control idóneos para la manipulación, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los RAEE.

En cuanto a los procesos que llevan a cabo en los puntos de reparación, se evidencia que tampoco cuentan con lineamientos establecidos para el manejo de los RAEE por lo que muchos de los residuos no son recolectados adecuadamente y tienen una disposición indebida. Por otro lado, también se pudo medir la cantidad promedio de frecuencias de reparación de aparatos eléctricos y electrónicos que se realizan en el municipio objeto de estudio.

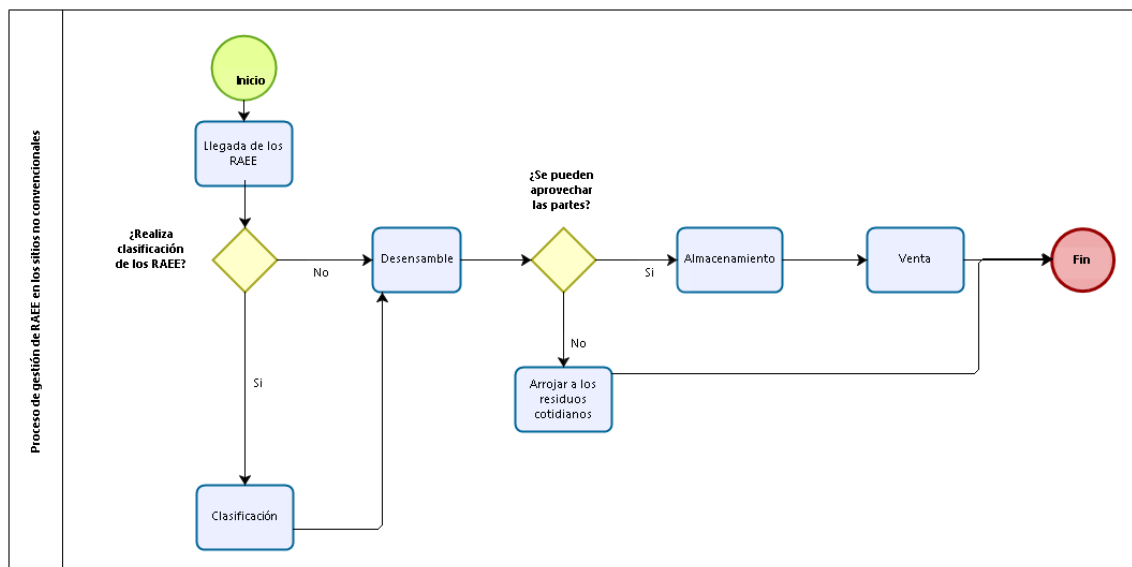
Gráfica 2. Proceso de gestión actual de RAEE en puntos de reparación del municipio de Zarzal.



Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3. Proceso de gestión actual de RAEE en los sitios no convencionales (chatarrerías) del municipio de Zarzal.



Fuente: Elaboración propia

Powered by  
bizagi  
Modeler

A partir de lo dicho anteriormente se destacan factores relevantes tales como:

- Frecuencia de reparación: Cantidad promedio de aparatos eléctricos y electrónicos que son llevados a puntos de reparación.
- Almacenamiento: Puntos de disposición temporal disponibles para los RAEE.
- Recolección informal: Es cantidad promedio de RAEE obtenidos por terceros no vinculados a la empresa recolectora de basuras del municipio.
- Disposición final: lugar al que son enviados todos aquellos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que no fueron aprovechados para otras actividades.
- Tratamiento: Manejo adecuado por parte de las personas en contacto con los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Manipulación: Medidas de seguridad físicas establecidas al momento de entrar en contacto con los RAEE.
- Aprovechamiento: Cantidad promedio de uso los aparatos eléctricos y electrónicos para dar otros usos tales como aprovechamiento de partes para repuesto.
- Tasa de información: Conocimientos idóneos sobre el control y gestión de los RAEE
- Reparación: Cantidad promedio de aparatos eléctricos y electrónicos reparados.

Debido a que estos factores presentaron los porcentajes más altos por parte de los encuestados en este estudio, se tienen en cuenta para la determinación de las variables necesarias en el modelo.

## 6.1 FACTORES RELEVANTES EN EL PROCESO DE CONTROL Y GESTIÓN DE LOS RAEE IDENTIFICADOS EN LA LITERATURA.

En este punto se busca identificar aquellos factores relevantes que nos permitan determinar las variables necesarias para la estructuración del modelo de simulación dinámica de la recolección de RAEE en el municipio de Zarzal.

Con el propósito de identificar los factores relevantes en el control y gestión de los RAEE se efectuó una revisión exhaustiva en la literatura teniendo en cuenta los ya expuestos a partir del análisis de la encuesta del capítulo anterior, para ello se tuvo en cuenta la importancia y la aplicabilidad que los autores citados consideraron más importantes para sus respectivos estudios. A partir de allí se encontraron muchos factores de los cuales se optó por seleccionar aquellos en los que la gran mayoría de los autores coincidían y que además se ajustan a los objetivos y condiciones del presente trabajo.

A continuación, en la Tabla 4 se relacionan los factores relevantes identificados y los autores que los han utilizado en sus diferentes estudios sobre la gestión de los RAEE

*Tabla 4 Factores relevantes en el control y gestión de los RAEE, considerados por diversos autores.*

Factor relevante	Autores que lo han considerado			
Almacenamiento	(Dasgupta, y otros, 2017)			
Ciclo de vida	(Dasgupta, y otros, 2017)			
% Reciclado	(Dasgupta, y otros, 2017)	(Gnoni & Lonzilotto, 2012) *Cantidad de materiales reciclados.	(Rodríguez, Jaimes, Estupiñán, & Toro, 2015) *Porcentaje	
Obsolescencia	(Dasgupta, y otros, 2017) *Consumo per cápita/ciclo promedio de vida	(Georgiadis & Besiou, 2010)	(Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013) Definición: N° de años por tiempo en uso de un tv	(Arroyo López, & otros, 2014) *Computadores útiles/Vida útil promedio

			por la tecnología. *Años	
Consumo per cápita	(Dasgupta, y otros, 2017)			
Tasa de recolección informal	(Arroyo López, & otros, 2014) * Porcentaje	(Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013) Definición: Cantidad de peso de tv usado y dañado por tecnología que entraron al canal de recolección. *Unidad: toneladas.		
Intención consumidor	(Arroyo López, & otros, 2014)			
Tasa de información	(Arroyo López, & otros, 2014)			
Legislación	(Arroyo López, & otros, 2014) *Porcentaje	(Georgiadis & Besiou, 2010)	(Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013)	(Romadhani & Rainer , 2015)
Responsabilidad social	(Arroyo López, & otros, 2014) *Porcentaje			
Costo de clasificación	(Zhidian , 2010)			
Costo de transporte al centro de acopio	(Zhidian , 2010)			
Productos aceptados reciclaje	(Georgiadis & Besiou, 2010)			

Productos rechazados reciclaje	(Georgiadis & Besiou, 2010)			
Disposición de los productos rechazados	(Georgiadis & Besiou, 2010)			
Costo reparación	(Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013) Costo ponderado de reparar un tv dañado. *\$(miles)			
Tasa promedio de renovación	(Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013) Frecuencia de recambio de tv. *Porcentaje			
Tasa crecimiento población	(Dasgupta, y otros, 2017)	(Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013) *Porcentaje	(Rodríguez, Jaimes, Estupiñán, & Toro, 2015) *Porcentaje	
Contaminantes	(Rodríguez B., González E., Reyes R., & Torres R., 2013) *Cantidad en peso de contaminantes			

	por tipo y tecnología. Toneladas.			
--	--------------------------------------	--	--	--

Fuente: Elaboración propia 2017

A continuación, en la Tabla 5 se presenta la importancia de cada uno de los factores relevantes dentro del caso de estudio y el aporte que estos generan en el desarrollo y análisis de la investigación.

*Tabla 5. Importancia de los factores relevantes en el presente trabajo de investigación.*

<b>Factor relevante</b>	<b>Importancia</b>
Peso estimado de AEE (Aparatos eléctricos y electrónicos) en el municipio	Con este factor se considerará la cantidad de AEE en kg que existe en el municipio dando un valor inicial que permita la estimación de RAEE en el modelo
Población	La cantidad de habitantes que componen la cabecera municipal y por ende permitirá estimar la generación de RAEE.
Tasa crecimiento población-crecimiento de la población	Esto nos permitirá identificar el posible aumento o disminución de los RAEE durante un periodo de tiempo determinado.
Consumo per cápita	Con este se puede estimar la cantidad promedio de aparatos eléctricos y electrónicos de uso personal durante un periodo de tiempo.
Tasa de Renovación	Este factor permitirá realizar una valoración de la cantidad promedio anual de renovación de AEE por parte de los consumidores.
Responsabilidad social	Total, de personas que adquirieron un compromiso con el cuidado del medio ambiente haciendo un adecuado manejo y disposición final de los RAEE.
Porcentaje de responsabilidad social	Porcentaje asociado a las personas que están comprometidas con la gestión adecuada de los RAEE.
Información	Por medio de este factor se podrá hacer una valoración del promedio de la población que posee conocimientos sobre el control y gestión de los RAEE.

Punto de reparación	En cuanto al punto de reparación se estima la cantidad de aparatos que son llevados a reparación
Punto de recolección informal	Este factor permite medir en términos de cantidad de RAEE recolectados por personal no vinculados a una empresa recolectora de este tipo de residuos.
Legislación	La importancia de la legislación en el presente trabajo es considerar el porcentaje de la población que cumple y/o aplica de alguna manera la legislación actual sobre el control y gestión de los RAEE.
Personas que conocen la ley	El factor da a conocer el porcentaje de personas que conocen la política por lo que se estima que la aplican y cómo afecta la dinámica en las decisiones de gestión de los aparatos.
RAEE total	El aporte principal de este factor reside en conocer la cantidad de RAEE generados en el municipio
Producción de RAEE reciclable	Este factor permite conocer la cantidad en términos de porcentaje de cuántos materiales de residuos son reciclados.
RAEE Contaminante	Nos permite identificar la cantidad de contaminantes generados a partir de todos los RAEE rechazados para reciclaje.
Contaminantes	Los contaminantes son los principales componentes tóxicos que contienen los RAEE los cuales ocasionan impacto al medio ambiente.

Fuente: Elaboración propia 2018

Estos son los factores relevantes identificados y explicados -en la Tabla 4 y en la Tabla 5 respectivamente-, de acuerdo a la importancia que les dieron múltiples autores en la literatura y la relación directa con las características del presente caso de estudio lo que los hace idóneos para la determinación de las variables necesarias que se tendrán en cuenta en el diseño del modelo de simulación de recolección de los RAEE y poder concluir a partir de los resultados arrojados por la interacción de los mismos en la simulación del modelo.

## **7. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA QUE INTEGRE LOS FACTORES RELEVANTES EN EL CONTROL Y GESTIÓN DE LOS RAEE**

Descripción general de la situación actual del sistema:

El manejo que se realiza en el municipio objeto de estudio de los RAEE en la actualidad es prácticamente nulo, lo que conlleva a que se presenten situaciones tales como: recolección informal, manipulación de los objetos sin precaución, acumulación en chatarrerías y disposición en lugares no adecuados lo que se convierte en una problemática que afectará en un futuro la salud humana y el medio ambiente.

Por otro lado, en el municipio existen puntos de reparación de AEE y puntos de gestión no convencionales (chatarrerías) para los RAEE funcionando de la siguiente manera:

Puntos de reparación de AEE:

El funcionamiento de estos puntos comienza a partir de la petición de un usuario de AEE el cual necesita el servicio de reparación donde le definen si es posible la reparación, si lo es se ejecuta, en caso contrario se hace una evaluación con respecto a la pertinencia de la reutilización de las partes del aparato averiado, una vez ejecutada, se presentan dos opciones: si son aptos para reutilización se almacenan para un uso posterior, de lo contrario se desechan.

Puntos de gestión no convencionales:

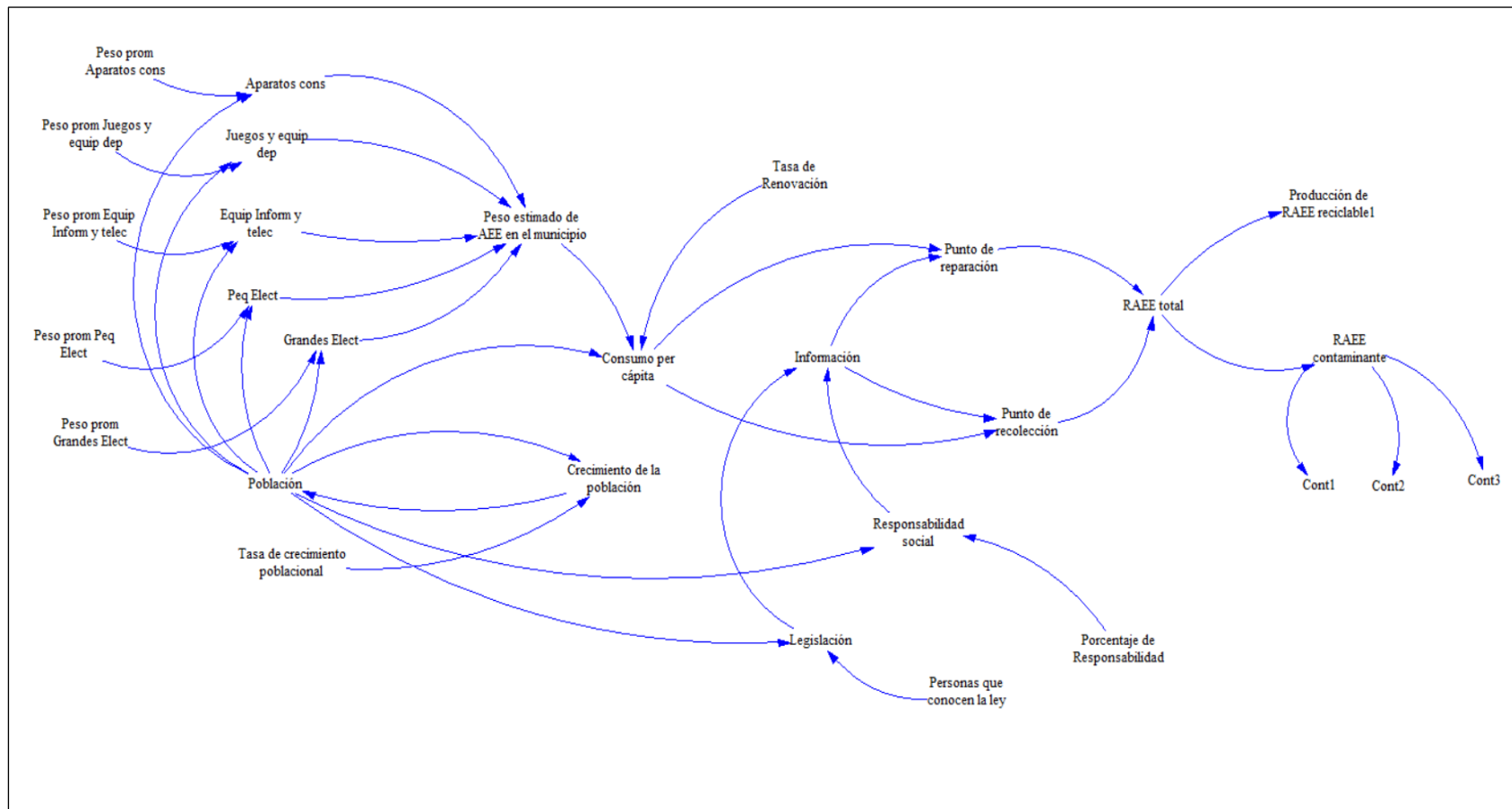
El proceso en estos puntos empieza con la llegada de los RAEE a los cuales se les clasifica; posteriormente se procede con un desensamble donde se realiza la evaluación de aceptación o rechazo de las partes para reciclaje, siendo las aceptadas enviadas a un almacenamiento y posible venta y las rechazadas enviadas a desecho.

Para desarrollar el modelo donde se integren los factores relevantes del control y gestión de los RAEE y así poder realizar una adecuada simulación dinámica del sistema objeto de estudio, se consideran número estimado de AEE, punto de recolección informal, información, ciclo de vida, punto de reparación y RAEE total como algunas de las variables que intervienen en el modelo.

El modelo propuesto considera un tiempo de simulación de 120 meses (10 años) e involucra algunos de los factores relevantes

En la *Gráfica 4* se presenta el diagrama causal y en la *Gráfica 5* el diagrama de Forrester correspondientes al sistema actual de gestión de RAEE del municipio objeto de estudio.

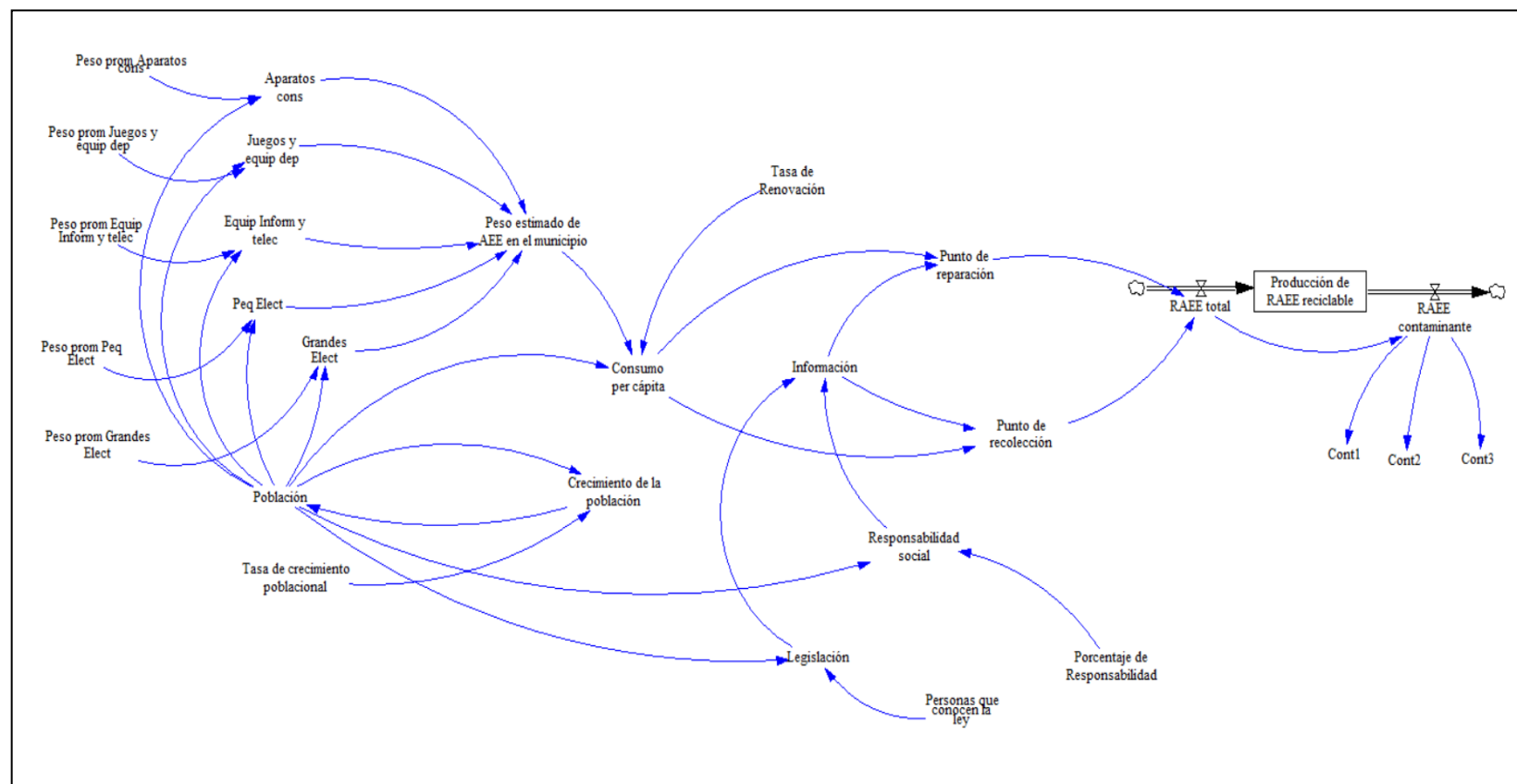
*Gráfica 4. Diagrama causal del sistema actual de gestión de RAEE.*



Fuente: Elaboración propia



Gráfica 5. Diagrama de Forrester estado actual del sistema de gestión de RAEE.



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las ecuaciones del modelo:

Tabla 6. Descripción de las ecuaciones del modelo actual.

Variable	Ecuación	Unidades	Observación
Tasa de crecimiento poblacional	<i>1,01%</i>	1/year	Dato tomado proyección DANE 2005-2020
Crecimiento de la población	<i>Población</i> <i>* Tasa de crecimiento poblacional</i>	People/year	
Población	<i>Crecimiento de la población</i>	people	Valor inicial 32292 dato tomado del DANE 2018
Peso prom Grandes Elect	<i>29.85</i>	kg	Promedio de los pesos de los grandes electrodomésticos en el municipio.  Dato obtenido del anexo 5
Peso prom Peq Elect	<i>0.47</i>	kg	Promedio de los pesos de aparatos clasificados en pequeños electrodomésticos  Dato obtenido del anexo 5
Peso prom Equip Inform y telec	<i>0.99</i>	kg	Promedio de los pesos equipos de informática y telecomunicaciones  Dato obtenido del anexo 5

Peso prom Juegos y equip dep	3.3	kg	Promedio de los pesos juegos y equipos deportivos en el municipio.  Dato obtenido del anexo 5
Peso prom Aparatos cons	6.48	kg	Promedio de los pesos aparatos eléctricos de consumo.  Dato obtenido del anexo 5
Peso estimado de AEE en el municipio	$(\text{peso promedio } E1 + \text{peso promedio } E2 + \text{peso promedio } E3 + \text{peso promedio } E4 + \text{peso promedio } E5)/5$	Kg*persona	9.87 kg. Promedio de peso por AEE
Grandes Elect	$\frac{32.292}{4} * 76\% * 4 = 24541,92$	Kg*persona	Número estimado de aparatos clasificados en grandes electrodomésticos en el municipio.  32.292 Total de la población dato tomado del DANE.  4 número de promedio de personas por hogar  76% promedio de personas que cuentan con lavadoras, neveras, horno microondas y ventiladores

			<p>4 número de AEE tomado por categoría</p> <p>Datos obtenido de la encuesta N°3.</p>
Peq Elect	$\frac{32.292}{4} * 84 \% * 2 = 13.562,64$	Kg*persona	<p>Número estimado de aparatos clasificados en pequeños electrodomésticos en el municipio.</p> <p>32.292 Total de la población dato tomado del DANE.</p> <p>4 número de promedio de personas por hogar</p> <p>84% promedio de personas que cuentan con planchas y planchas de cabello</p> <p>2 número de AEE tomado por categoría</p> <p>Dato obtenido de la encuesta N°3.</p>
Equip Inform y telec.	$\frac{32.292}{4} * 52 \% * 5 = 20.989,8$	Kg*persona	<p>Número estimado de aparatos clasificados en equipos de informática y telecomunicaciones en el municipio.</p>

			<p>32.292 Total de la población dato tomado del DANE.</p> <p>4 número de promedio de personas por hogar</p> <p>52% promedio de personas que cuentan con computadores, celulares, Tablet y mp4</p> <p>5 número de AEE tomado por categoría.</p> <p>Dato obtenido de la encuesta N°3.</p>
Juegos y equip dep	$\frac{32.292}{4} * 44\% * 1 = 3.552,12$	Kg*persona	<p>Número estimado de aparatos clasificados en juegos y equipos deportivos en el municipio.</p> <p>32.292 Total de la población dato tomado del DANE.</p> <p>4 número de promedio de personas por hogar</p> <p>44% promedio de personas que cuentan con consola de videojuegos.</p>

			<p>1 número de AEE tomado por categoría.</p> <p>Dato obtenido de la encuesta N°3.</p>
Aparatos cons	$\frac{32.292}{4} * 74 \% * 3 = 17.922,06$	Kg*persona	<p>Número estimado de aparatos clasificados en aparatos eléctricos de consumo en el municipio.</p> <p>32.292 Total de la población dato tomado del DANE.</p> <p>4 número de promedio de personas por hogar</p> <p>74% promedio de personas que cuentan con Televisores, equipo de sonido y DVD.</p> <p>3 número de AEE tomado por categoría.</p> <p>Dato obtenido de la encuesta N°3.</p>
Consumo per cápita	$\frac{(\text{Peso estimado de AEE en el municipio})}{\text{Población} * \text{Tasa de Renovación}}$	Kg/year	
Tasa de Renovación	0.1019	1/year	5% Tasa de crecimiento anual global de RAEE

			<p>5.3 kg generados por habitante</p> <p>2.6% kg/año por persona en Colombia</p> $\frac{5.3 \frac{kg}{persona} * 5\%}{2.6 \frac{kg}{año} * persona} = 0.1019$
Punto de reparación	$((Renovación + (Información * consumo per cápita)) * 0.53)$	Kg/year	El 53% se toma del promedio de los porcentajes de las personas que llevan los RAEE a reparación. Dato obtenido de la encuesta N° 3
Personas que conocen la ley	13%	1/people	Dato obtenido de la encuesta. Promedio de conocimiento de la legislación RAEE
Legislación	$Personas\ conocen\ la\ ley * Población$	1	
Información	$\frac{Legislación + Responsabilidad\ social}{2}$	1	Promedio de personas que tienen conocimiento y responsabilidad social con respecto a la gestión de los RAEE

Porcentaje Responsabilidad social	<i>0.36</i>	1/people	Dato obtenido de la encuesta N°3.
Responsabilidad social	<i>Población * Porcentaje Responsabilidad social</i>	1	Promedio de respuestas del conocimiento de lineamientos básicos
Punto de recolección informal	<i>(Renovación + (Información * Consumo per cápita)) * 0.47</i>	Kg/year	El 47% se toma del promedio de los porcentajes de las personas que llevan los RAEE a reparación. Dato obtenido de la encuesta N°3
Total RAEE	<i>(Punto reparación * 16,5% + Punto recolección informal)</i>	Kg/year	16,5% se toma de los resultados de la encuesta N°1
Producción RAEE reciclable	<i>Total RAEE – RAEE contaminante</i>	Kg/year	
RAEE contaminante	<i>Total de RAEE * 93,6%</i>	Kg/year	93,6% porcentaje de RAEE gestionados. Dato obtenido de la política nacional de la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
Cont1 (Cromo)	<i>1,5% * RAEE contaminante</i>	Kg/year	1,5% promedio de intervalo de 0,1-2,5



			(İşildar, R. Renea, van Hullebusch, & Lens, 2017)
Cont2 (Plomo)	<i>2,95% * RAEE contaminante</i>	Kg/year	2,95% promedio de intervalo de 0,9-5 (İşildar, R. Renea, van Hullebusch, & Lens, 2017)
Cont3 (Antimonio)	<i>0,4 % * RAEE contaminante</i>	Kg/year	0,4% promedio de intervalo de 0,1-0,7 (İşildar, R. Renea, van Hullebusch, & Lens, 2017)

Fuente: Elaboración propia

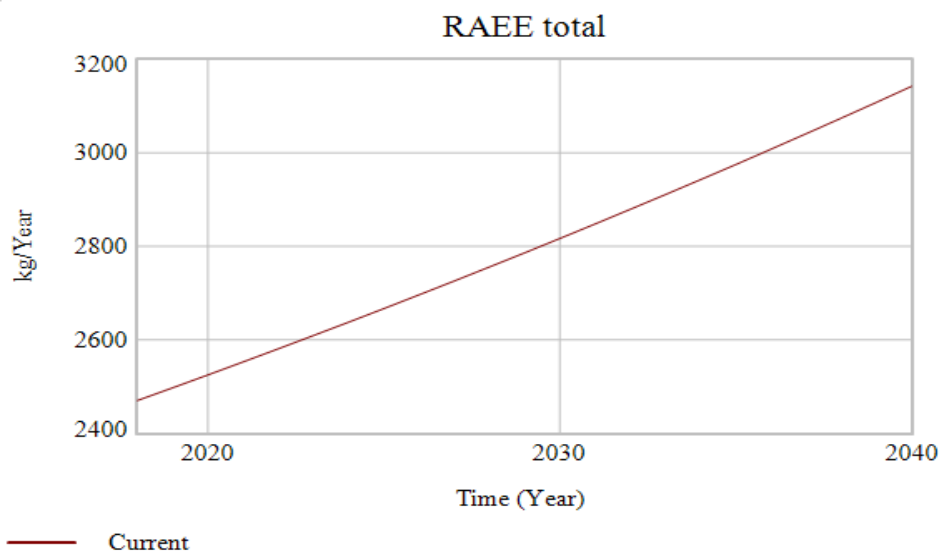
## 8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del modelo después de simularlo en el software Vensim® PLE 7.2 con licencia para estudiantes, posteriormente se hace un análisis a las variables más críticas del modelo.

El escenario actual de los RAEE en el municipio de Zarzal se muestra en Las gráficas 5, 6 y 7 en las cuales se observa un comportamiento creciente de los RAEE (kg) estimado en un periodo de 22 años, esto sucede debido a distintos factores descritos en el modelo que afectan variables tales como la producción total de RAEE, RAEE contaminante y el RAEE reciclable.

A continuación, se presentan los resultados y análisis:

*Gráfica 6. Simulación de producción de RAEE total*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 7. Simulación de producción de RAEE a través de tiempo.*

Tiempo (años)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
RAEE total	2470.5	2497.6	2525.1	2552.9	2581.0	2609.4	2638.1	2667.1	2696.4	2726.1	2756.1

1,103%						<i>Tiempo (años)</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>
1,095%						<i>RAEE total</i>	2470,5	2497,7	2525,2	2552,9	2580,0

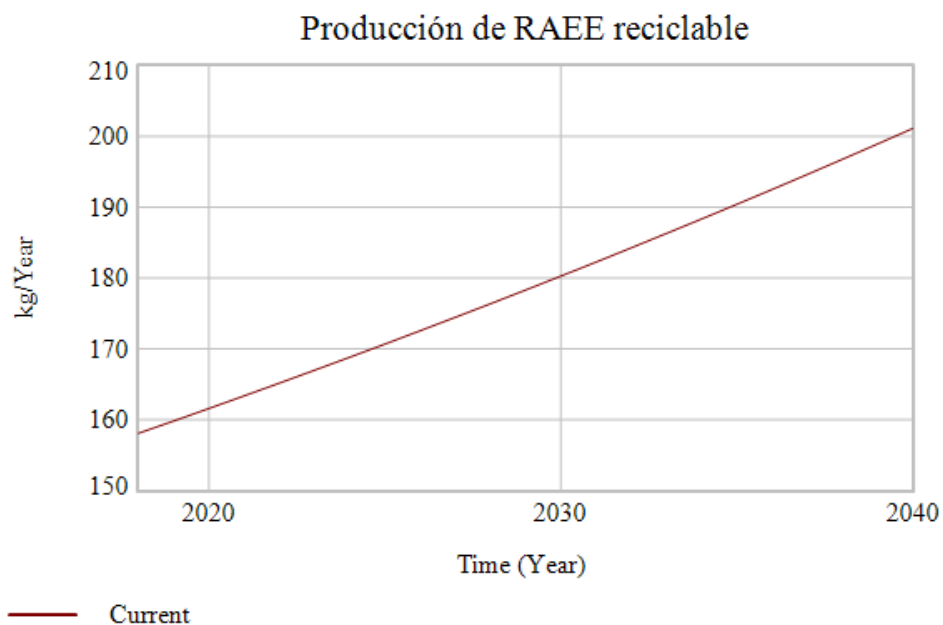
<b>Tiempo (años)</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>2035</b>	<b>2036</b>	<b>2037</b>	<b>2038</b>	<b>2039</b>
<b>RAEE total</b>	2786,4	2817,1	2848,1	2879,4	2911,1	2943,1	2975,5	3008,2	3041,3	3074,8	3108,6

<b>Tiempo (años)</b>	<b>2040</b>
<b>RAEE total</b>	3142,8

Fuente: Elaboración propia

Podemos la Gráfica 6 el comportamiento de la producción total de RAEE a través del tiempo donde se compara la producción en kg por año durante una simulación de 22 Años en total, además se puede apreciar en la misma que la curva de crecimiento es exponencial constante pero no abrupta en algún punto del tiempo simulado. apreciar en Por otro lado en la Tabla 7 se presentan los valores en kg de producción de RAEE año por año ; de la tabla se puede inferir que el crecimiento de la producción es muy constante con una tasa de variación de año a año alrededor del 1% durante los 22 años de simulación.

*Gráfica 7. Simulación de producción de RAEE reciclable*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 8. Simulación de producción de RAEE reciclable a través del tiempo*

Tiempo (años)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
RAEE reciclable	158,1	159,9	161,6	163,4	165,2	167	168,8	170,7	172,6	174,5	176,4

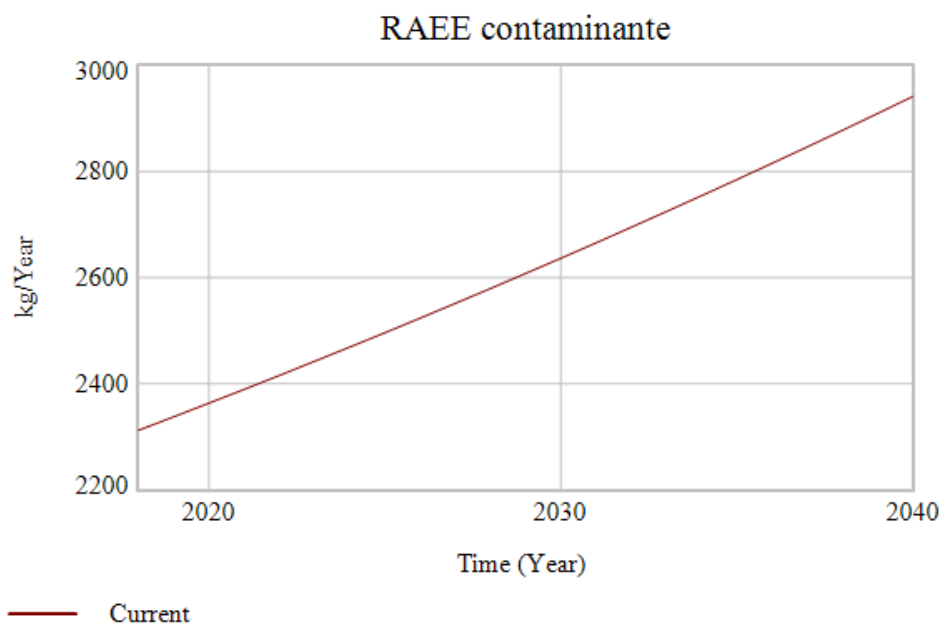
Tiempo (años)	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
RAEE reciclable	178,3	180,3	182,3	184,3	186,3	188,4	190,4	192,5	194,6	196,8	198,9

Tiempo (años)	2040
RAEE reciclable	201,1

Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 7 se visualiza la producción de RAEE reciclable durante el tiempo de simulación; al igual que en la producción de RAEE total el incremento a través del tiempo es muy constante con una tasa porcentual alrededor del 1%. Además, en la tabla 8 podemos ver que en los primeros años de simulación la producción de RAEE reciclable estaba alrededor de 158 kg y en los últimos años de simulación la producción terminó alrededor de los 195 kg, dando esto una diferencia de 40 kg correspondientes a un 23% de incremento.

*Gráfica 8. Simulación de producción RAEE contaminante*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 9. Simulación de producción de RAEE contaminante*

Tiempo (años)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
RAEE contaminante	2312	2338	2364	2390	2416	2442	2469	2496	2524	2552	2580

Tiempo (años)	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
RAEE contaminante	2608	2637	2666	2695	2725	2755	2785	2816	2847	2878	2910

Tiempo (años)	2040
RAEE contaminante	2941.6

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la producción de RAEE contaminante la simulación muestra crecimiento constante en el tiempo al igual que en las dos variables anteriores. Por otro lado, podemos observar en la Tabla 9 la producción total de RAEE contaminante en kg comparada con la producción en kg de RAEE reciclable es mucho mayor alrededor de 2710 más de RAEE contaminante con respecto al reciclable, representando el RAEE contaminante un 94% de la producción de RAEE total, mientras que el RAEE reciclable representa el 6% restante.

El crecimiento de la producción de RAEE total a través del tiempo simulado es constante con una tasa alrededor del 1% muy similar con la tasa de crecimiento poblacional del municipio de Zarzal del 1,01%, de lo cual podemos inferir que esto es un factor determinante en la producción de RAEE y como consecuencia tenga un comportamiento creciente constante.

## 8.1. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Tabla 10. Simulación de diferentes escenarios al modelo del sistema actual

Escenarios	Variables		Prod. Total de RAEE (prom)	RAEE reciclable (prom)	RAEE contaminante (prom)	Observación
1. Disminución de la tasa de renovación en 3 puntos porcentuales pasando de 10,19% a 7,19%	Tasa de renovación	Simulación actual del sistema	30,6	1,956	28,6	Con la disminución en la tasa de renovación en el primer escenario se puede apreciar claramente que tanto la producción total de RAEE, el RAEE reciclable y el RAEE contaminante disminuyeron con respecto a la simulación del sistema actual en promedio un 29,49% con respecto a los valores arrojados inicialmente en el sistema.
		Simulación del escenario 1	21,56	1,38	20,18	
2. Disminución 13,6 puntos porcentuales pasando de 93,6% al 80%	RAEE contaminante (porcentaje) - Producción de RAEE reciclable	Simulación actual del sistema	30,6	1,956	28,6	En el escenario 2 las variables críticas del sistema como lo son la producción total de RAEE se mantiene constante, el reciclable sufre un aumento y el RAEE contaminante disminuye respectivamente, comparado con los valores obtenidos en la simulación inicial.
		Simulación del escenario 2	30,6	6,11	24,45	
3. Personas que conocen la ley aumentó del 13% al 18,5%, porcentaje de responsabilidad pasó del 36% al 41,5%; el porcentaje de RAEE contaminante pasó de 93,6% a 88,6%	Personas que conocen la ley- Porcentaje de responsabilidad- RAEE contaminante (porcentaje)- Producción de RAEE reciclable	Simulación actual del sistema	30,6	1,956	28,6	En este escenario podemos observar que las tres variables aumentaron, en el caso de la producción total de RAEE 22,28%, el RAEE reciclable 15,9% y el RAEE contaminante 118% siendo esta última un aumento bastante significativo pero justificable con el hecho de que al haber un mayor conocimiento y responsabilidad sobre la gestión y control de los RAEE genera que el reciclaje aumente como consecuencia y por tanto la proporción de contaminante sea un poco menor.
		Simulación del escenario 3	37,42	4,27	33,15	

Prom: Promedio

Prod: Producción

Fuente: Elaboración propia. 2018

Nota: Para la realización de los diferentes escenarios se ejecutaron cambios a algunas variables dentro del sistema como lo fueron:

Se realizó un cambio en la variable Tasa de Renovación, ya que en la Política Nacional (gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), dice que en el caso de los RAEE la prevención hace referencia principalmente a todas aquellas medidas orientadas a evitar que un aparato se convierta en residuo, usando como estrategia la promoción de prácticas de extensión de vida útil.

Se realizó un cambio en la variable RAEE contaminante, teniendo en cuenta que el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de la república de Colombia, espera una tasa de aprovechamiento y valorización en Colombia del 20% para el año 2018 con respecto a los residuos contaminantes. (Ríos Obando, 2017).

Se hizo un cambio en la variable Personas que conocen la ley y la responsabilidad social, debido a que la Política Nacional (gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), uno de los objetivos específicos tiene como finalidad prevenir y minimizar la generación de aparatos eléctricos y electrónicos(RAEE) promoviendo en la sociedad Colombiana un cambio hacia la producción y el consumo responsable de los aparatos, y para el cumplimiento de este en la línea de acción proponen el desarrollo de campañas, programas y estrategias de educación ambiental encaminadas a la gestión de los RAEE. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)pág. 66.

Para el caso actual del municipio objeto de estudio, a partir del análisis de los resultados obtenidos una vez se efectuó la simulación del modelo se visualizó que el comportamiento de la gestión y control de los RAEE por parte de los habitantes del municipio no tienen una participación activa, lo que se puede apreciar en la producción total de RAEE es 2.470 kg y como consecuencia la proporción de RAEE contaminante es del 93.6% un valor bastante alto, lo que nos hace pensar que el municipio necesita generar campañas de concientización, estrategias de control, recolección y gestión de los RAEE, así como brindar o poner a disposición de las personas puntos de acopio de estos residuos y así mejorar la calidad de vida y del medio ambiente, debido al mayor conocimiento por parte de las personas sobre los mismos.

Por otro lado, como resultado de los diferentes análisis hechos a partir de la simulación de diferentes escenarios tales como: disminución de la tasa de información, disminución porcentual del RAEE contaminante, aumento en el conocimiento de las personas que conocen la ley y el porcentaje de responsabilidad permitieron un mayor aumento en la cantidad de RAEE reciclable y por ende la disminución del RAEE contaminante sobre la producción total del RAEE generada año tras año durante el tiempo de simulación.



Estrategia	Dirigido a	Descripción	Responsable
Proponer campañas informativas sobre gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Estudiantes de primaria, secundaria, técnicos, tecnólogos y pregrado. Trabajadores de las empresas del sector público y privado, juntas de acción comunal y población en general	Realizar talleres y exposiciones sobre la gestión de los RAEE y la política nacional de gestión integral de los RAEE	Administración municipal en conjunto con las instituciones de educación, y entidades ambientales.
Plantear la creación de puntos de acopio de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en las empresas públicas y privadas.	Empleados y directivos de las correspondientes empresas	Realizar un convenio con las empresas de los sectores públicos y privados para que dentro de sus normas ambientales implementen la creación de puntos de acopio de RAEE.	Administración municipal con la colaboración de las empresas públicas y privadas.
Recomendar capacitaciones sobre los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión eficiente de estos.	Personal puntos de recolección no convencionales	Realizar capacitaciones sobre el manejo y disposición de los RAEE que incentiven el aprovechamiento de estos y su manejo ambientalmente seguro.	Administración municipal y entidades ambientales.
Diseñar propuestas para capacitar sobre los residuos de aparatos eléctricos y	Personal sitios de reparación	Capacitar el personal de los sitios de reparación para que realicen un adecuado	Administración municipal y entidades ambientales

electrónicos y su disposición final		manejo y disposición final de los RAEE.	
Proponer la realización de convenios con empresas gestoras de RAEE		Realizar convenios con empresas especializadas en gestionar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos procurando la seguridad humana y ambiental para que realicen la recolección de RAEE	Administración municipal y entidades ambientales
Proponer un programa de incentivos de reducción de impuestos para los puntos de reparación y chatarrerías que cumplan con la gestión y control adecuado de los RAEE	Los puntos de reparación y chatarrerías; y administración municipal.	Realizar un plan de reducción de impuestos que tenga como base cantidad de aparatos gestionados adecuadamente y los lineamientos reglamentados por la ley.	Administración municipal

## 9. CONCLUSIONES

En los resultados obtenidos de la simulación del modelo diseñado se pudo conocer que en el municipio objeto se carece de un sistema de gestión adecuado de manejo de RAEE, tanto los entes públicos como la empresa privada, entre las principales causas de que se carezca de un sistema de gestión están la poca responsabilidad social, conciencia ambiental, aplicación de normas y el desconocimiento del valor monetario que generan los residuos eléctricos y electrónicos una vez termina su ciclo de vida.

A partir de la visualización y conocimiento de la situación actual de los RAEE en el municipio objeto de estudio, se pudo simular y observar el comportamiento del peso de los RAEE durante 22 años, obteniendo en el último año 3142.8 kg de RAEE, lo que permitió analizar su variación en el tiempo.

Por otro lado, se llevaron a cabo encuestas a los sitios de recolección no convencionales y de reparación facilitando conocer que el 100% de las personas encuestadas no tiene precaución al realizar el desensamble, y no han recibido capacitaciones a cerca del debido tratamiento de estos residuos, el 13% conoce la política nacional para la gestión integral de los RAEE, adicionalmente la revisión sobre trabajos y artículos académicos que involucraban en su desarrollo modelos de dinámica de sistemas enfocados en la gestión de los RAEE, favorecieron la selección de factores relevantes que afectan el sistema de la operación actual, encontrando un total de 19 factores de los cuales se eligieron 9 para la construcción del modelo .

La construcción del modelo permitió integrar diferentes factores analizados a partir de las encuestas y la revisión bibliográfica, entre ellos los más representativos fueron la producción de RAEE la cual se espera que en el 2040 tenga un incremento del 23%, la producción de RAEE reciclable que sólo comprende el 6% mientras que la producción de RAEE contaminante alcanza una participación del 94% del total de la producción, el modelo abarcara el comportamiento del sistema actual referente al proceso de residuos en el municipio objeto de estudio.

Con la simulación de los diferentes escenarios planteados se logró evaluar el modelo ante cambios a variables críticas del sistema y con ello valorar el comportamiento de los resultados de la simulación inicial del sistema.

También identificados las diferentes falencias dentro del control y gestión de los RAEE en el municipio da paso a la posibilidad de desarrollo de estrategias para mejorar los aspectos en los cuales está fallando el sistema actual mediante la ejecución de campañas de información y recolección de RAEE, promulgación de talleres informativos sobre la gestión y control de los RAEE en las escuelas, colegios, institutos y universidad, coordinar puntos de recolección no convencional y reparación espacios de aprovisionamiento temporales de RAEE, para luego ser manipuladas por personal idóneo y destinadas en lugares adecuados

mediante la ayuda de empresas gestoras de RAEE que estén suscritas a convenios de colaboración con la administración municipal y así mejorar tanto la calidad de vida como el medio ambiente para los habitantes del municipio.

## **10. RECOMENDACIONES**

Realizar investigaciones sobre logística inversa, sistemas dinámicos, y el impacto ambiental que ocasionan los diferentes RAEE. Como se puede ver en esta investigación la logística inversa y sistemas dinámicos se convertirán en temas importantes en la producción y distribución de aparatos eléctricos y electrónicos por lo tanto es importante analizar su comportamiento teniendo en cuenta factores tales como los costos de transporte, almacenamiento y manipulación entre otros.

También se recomienda para futuras investigaciones hacer un estudio más detallado del sistema actual de gestión de RAEE involucrando actores como, instituciones educativas públicas y privadas al igual que las empresas tanto las dedicadas al manejo de tecnología y demás industrias, esto para obtener un mayor espectro del sistema actual y así generar unos resultados más semejantes a la realidad actual.

## BIBLIOGRAFÍA

(s.f.). Obtenido de SONY: <https://www.playstation.com>

Arroyo López, P., Villanueva Bringas, M., Gaytán Iniestra, J., & García Vargas, M. (2012). Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos: Un modelo de dinámica de sistemas para la red de logística inversa. *Contaduría y Administración* 59, 9-41.

Demajorovic, J., Fernandes Augusto, E. E., & Saraiva De Souza, M. T. (2016). Reverse Logistics Of E-Waste In Developing Countries: Challenges And Prospects For The Brazilian Model. *Ambiente & Sociedade*, 117-136.

Güiza Barros, J. J. (2014). *Logística Inversa De Dispositivos Móviles –Para La Mitigación Ambiental - En Una Empresa De Telecomunicaciones En Colombia*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

León Giraldo, J. (2010). *Análisis de flujos de residuos de computadores en el sector formal e informal en Colombia*. Suiza : Universidad Politécnica de Lausanne.

Sinha-Khettrival, D., Widmer, R., Schwaninger, M., & Hilty, L. (2012). Application of System Dynamics to Assess Mass Flows of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). *Zurich Open Repository and Archive*, 1-10.

A. d. (2003). *La gestión de Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*.

Aracil, J. (1995). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Isdefe.

Ardi, R., & Leisten, R. (2015). Assessing the role of informal sector in WEEE management systems:. *Elsevier*, 3-16.

Arroyo López, P., Villanueva Bringas, M., Gaytán Iniestra, J., & García Vargas, M. (2014). Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos Un modelo de dinámica de sistemas para la red de logística inversa. *Contaduría y Administración*, 9-41.

Cabeza, D. (2012). *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona: Marge Books.

Casas, J., Cerón, K., Vidal, C. J., Peña, C. C., & Osorio, J. C. (2015). Priorización multicriterio de un residuo de aparato eléctrico y electrónico. *Ingeniería y Desarrollo*, 172-197.

Castro, M. (12 de Junio de 2012). *alternativa verde*. Obtenido de <https://alternativa-verde.com>

*Consejos impresoras*. (2015). Obtenido de <http://www.consejosimpresoras.es/2015/09/cuantos-anos-dura-una-impresora.html>

- CORANTIOQUIA, Municipio de Envigado, Interventoría Corantioquia, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Rural de, Equipo de trabajo Enviaseo E.S.P, & Ecycling S.A.S. (s.f.). *Concientízate*. Envigado.
- DANE. (30 de Junio de 2016). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/>
- Dasgupta, D., Debsarkar, A., Hazra, T., Bala, B., Gangopadhyay, A., & Chatterjee, D. (2017). Scenario of future e-waste generation and recycle-reuselandfill-based disposal pattern in India: a system dynamics approach. *Environ Dev Sustain*, 1473-1487.
- El Español*. (s.f.). Obtenido de <https://elandroidelibre.lespanol.com>
- Exito*. (s.f.). Obtenido de [www.exito.com](http://www.exito.com)
- Falabella*. (s.f.). Obtenido de [www.falabella.com.co](http://www.falabella.com.co)
- Georgiadis, P., & Besiou, M. (2010). Environmental and economical sustainability of WEEE closed-loop supply chains with recycling: a system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 475–493.
- Gnoni, M. G., & Lonzilotto, A. (2012). System Dynamics Model for Sustainability Analysis of Mobile Phone Reverse Logistics. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1644-1653.
- Gómez Montoya, R. A., Correa Espinal, A. A., & Vásquez Herrera, L. S. (2012). Logística inversa, un enfoque con responsabilidad social empresarial. *Críterio libre*, 143-158.
- GSMA, & Universidad de Naciones Unidas. (2015). *eWaste en América Latina: Análisis estadístico y recomendaciones de política pública*.
- Haceb*. (s.f.). Obtenido de [www.haceb.com](http://www.haceb.com)
- Hidalgo Aguilera, L. (2010). LA BASURA ELECTRÓNICA Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. *ENFOQUETE*, 46-61.
- Homeelements*. (s.f.). Obtenido de [www.homeelementsweb.com](http://www.homeelementsweb.com)
- Hoyos Arbeláez, J. C. (2011). *DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS ASOCIADOS A LAS TIC EN COLOMBIA PARA ANALIZAR SU VIABILIDAD TECNOLÓGICA Y FINANCIERA*. Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA .
- HP online*. (s.f.). Obtenido de <https://www.hponline.cl>
- Işildar, A., R. Renea, E., van Hullebusch, E., & Lens, P. (2017). Electronic waste as a secondary source of critical metals: Management and recovery technologies. *ELSEVIER*, 1-17.

- Lizarazo Ramírez, M. (30 de Junio de 2017). *Observatorio Ambiental de Bogotá*. Obtenido de <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=621&v=l>
- Mannocci , A., Zscheppang , A., La Torre , G., Semyonov , L., Chiaradia , G., Markovic Denic , L., . . . Kirch, W. (2012). A pilot survey about waste management in European hospitals: focusing on electrical and electronic equipment. *J Public Health* , 65–69 .
- MARTÍNEZ SOTELO, A. M. (2015). *ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS RAEE'S DOMICILIARIOS EN EL MUNICIPIO DE YOPAL (CASANARE)*. Yopal.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (6 de Junio de 2017). *minambiente*. Obtenido de Colombia, pionero en Suramérica en implementar políticas de gestión de RAEE: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2924-colombia-pionero-en-suramerica-en-implementar-politicas-de-gestion-de-raee>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *MINAMBIENTE*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/assets/RAEE\\_baja.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/assets/RAEE_baja.pdf)
- Ministerio de Ambiente, V. y. (Julio de 2010). *Plataforma RELAC*. Obtenido de [http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia\\_RAEE\\_MADS\\_2011-reducida.pdf](http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida.pdf)
- Mora García, L. A. (2010). *Gestión logística integral*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Paéz, C. E., Bernardo, M., da Silva Lima, R., & Leal, F. (2016). Management of Waste Electrical and Electronic Equipment in Brazilian Public Education Institutions:Implementation Through Action Research on a University Campus. *Springer Science+Business Media New York*.
- Perú Hardware. (2011). Obtenido de <https://www.peruhardware.net/temas/cuanto-es-la-vida-util-de-una-tablet.139730/>
- Philips. (s.f.). Obtenido de <https://www.philips.com.co>
- R. A., & R. L. (2015). Assessing the role of informal sector in WEEE management systems:A System Dynamics approach. *ELSERVIER*, 3-16.
- Rasjidin, R., Kumar, A., Alam, F., & Abosuliman, S. (2011). A Reverse Logistics Profitability System Dynamics Model of Perishable Medium Volume Returns in Computer Industry. *Proc. of Int. Conf. on Advances in Industrial and Production Engineering*, 11-16.
- Rincón Argos, J. F. (2013). Propuesta plan de manejo ambiental para uso de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos en la empresa T-SHIRT LAB.



- Ríos Obando, J. F. (2017). Gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en el municipio de Armenia, Quindío. *Libre empresa*, 167-187.
- Rodríguez B., L. A., González E., N., Reyes R., L. S., & Torres R., A. F. (2013). Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque dinámica de sistemas. *S&T*, 39-53.
- Rodríguez, L., Jaimes, S., Estupiñán, E., & Toro, D. (2015). *System Dynamics Conference*. Obtenido de <http://conference.systemdynamics.org/>:  
<http://www.systemdynamics.org/conferences/2015/papers/P1304.pdf>
- Román, I. (2015). *El aporte de los operadores móviles en la reducción de la basura electrónica - Estudio de caso*. Colombia: GSMA.
- Simonetto, E., Quelhas, O., Spasojević Brkić, V., Putnik, G., Alves, C., & Castro, H. (2016). System Dynamics Model For Evaluation Of Reuse Of Electronic Waste Originated From Personal Computers. *Serbian Journal of Management* 11, 193-209.
- Tablet zona. (6 de Marzo de 2016). Obtenido de <https://tabletzona.es/2016/03/09/tablets-con-poca-vida-util-extiendela-con-estos-trucos/>
- Trujillo Gómez, J. S. (2014). *ESTUDIO TECNICO PARA LA CREACIÓN DE UN AGENTE RECEPTOR DE RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS RAEE DE LINEA BLANCA, MARRÓN Y GRIS A NIVEL DE GENERADORES DE TIPO INDUSTRIAL EN BOGOTÁ*. Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Universidad de las Naciones Unidas. (Noviembre de 2015). *Plataforma RELAC*. Obtenido de <http://www.residuoselectronicos.net/?p=4365>
- Valdiviezo Black, A. G. (Marzo de 2011). *CEPAL*. Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe:  
<https://www.cepal.org/socinfo/noticias/paginas/9/30389/newsletter14.pdf>
- Velázquez Tana, A. M. (s.f.). *Scrib*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/150456496/Analisis-Ciclo-de-Vida-Plancha-Taurus>
- Yong, C. (2010). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) management in Korea: generation, collection, and recycling systems. *J Mater Cycles Waste Manag*, 283–294.
- Zhiduan, X. (2010). System Dynamics Model of the Third Party Take-back System for E-waste. *IEEE Explore*, 1-6.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Encuesta N°1

**Fecha visita:**

**Nombre y dirección del sitio de reparación:** \_\_\_\_\_

**Encuesta sobre la gestión de RAEE en el municipio de Zarzal.**

**Objetivo:** Identificar qué aparatos son llevados con mayor constancia a reparación y las acciones que los encargados toman frente a su gestión.

**Mencione los tres aparatos eléctricos y electrónicos que llevan a reparar con mayor frecuencia.**

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

**En promedio al mes ¿cuántos de estos equipos llevan a reparar?**

\_\_\_\_\_

**De los aparatos que llevan a reparar ¿Cuántos no han podido ser reparados?**

\_\_\_\_\_

**¿Cuáles son los motivos más recurrentes por los cuales solicitan la reparación de estos aparatos?**

\_\_\_\_\_

**¿Considera usted que los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos son peligrosos?**

☐

Sí

☐

No

**¿Por qué motivo los aparatos en reiteradas ocasiones no han podido ser reparados?**

\_\_\_\_\_

**¿Cuál es la disposición final que le da a los residuos?**

☐

Venta.

☐

Almacenaje.

☐

Disposición en puntos de recolección de RAEE.

☐

Disposición con los demás residuos (rellenos sanitarios).

☐

Reutilización de las partes en buen estado.

☐ Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_

**Si la respuesta es venta, ¿Quiénes realizan la compra?**

\_\_\_\_\_

**Si la respuesta es almacenaje, ¿por qué razón se almacenan?**

\_\_\_\_\_

**¿Considera usted que es importante que alguna entidad se encargue de recolectar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?**

☐ Sí ☐ No

**Si la respuesta es afirmativa, de acuerdo a su experiencia ¿cada cuánto debería de realizar la recolección?**

- ☐ Diaria
- ☐ Semanal
- ☐ Quincenal
- ☐ Mensual
- ☐ Trimestral
- ☐ Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_

*ANEXO 2. Encuesta N°2*

**Fecha de visita:**

**Dirección:** \_\_\_\_\_

**Encuesta sobre la gestión de RAEE en el municipio de Zarzal.**

**Objetivo:** Identificar el manejo y disposición de los RAEE en los sitios no convencionales.

**¿Clasifica usted los diferentes residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que llegan al establecimiento?**

☐ Sí ☐ No

**Si la respuesta es afirmativa ¿Cómo realiza esta clasificación?**

☐ Líneas de productos por colores (línea blanca, marrón y gris)

☐ Aparatos de refrigeración, electrodomésticos grandes y medianos, aparatos de iluminación, aparatos con monitores y pantallas

☐ Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_

**¿Ha recibido capacitaciones o tiene conocimiento acerca del tratamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?**

☐ Sí

☐ No

**¿Cuáles residuos de aparatos llegan con más frecuencia a su establecimiento?**

\_\_\_\_\_

**¿Conoce los peligros que puede tener la manipulación de estos residuos?**

☐ Sí

☐ No

**¿Realiza desensamble a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?**

☐ Sí

☐ No

**Si la respuesta es afirmativa, ¿Qué tipo de materiales aprovecha usted de estos residuos?**

☐ Metales ☐ Vidrios de tubo de imagen LCD ☐ Baterías

☐ Plásticos ☐ Cables ☐ Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_

☐ Repuestos ☐ Mezcla metal-plástico

**¿Cuáles de los siguientes procedimientos tiene en cuenta al almacenar los residuos?**

☐ Almacenar en un lugar techado protegido de las condiciones del ambiente

☐ Depositar temporalmente los RAEE en contenedores, sobre estibas, o en cajas de rejas o de madera.

- ☐ Realizar la clasificación por diferentes categorías o tipos de aparatos para facilitar su posterior entrega a empresas especializadas.
- ☐ No desensambla ni manipula Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que se depositen en el punto de recolección.
- ☐ Los pisos deben ser impermeables para evitar infiltraciones y contaminación de los suelos.
- ☐ Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_.

**¿Cuál es la disposición final que le da a los residuos?**

- ☐ Venta.
- ☐ Almacenaje.
- ☐ Disposición en puntos de recolección de RAEE.
- ☐ Disposición con los demás residuos (rellenos sanitarios).
- ☐ Reutilización de las partes en buen estado.
- ☐ Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_

**Si la respuesta es venta, ¿Quiénes realizan la compra?**

\_\_\_\_\_

**Si la respuesta es almacenaje, ¿por qué razón se almacenan?**

\_\_\_\_\_

**¿Considera usted que es importante que alguna entidad se encargue de recolectar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?**

- ☐ Sí ☐ No

**Si la respuesta es afirmativa, de acuerdo a su experiencia ¿cada cuánto debería de realizar la recolección?**

- ☐ Diaria
- ☐ Semanal
- ☐ Quincenal
- ☐ Mensual
- ☐ Trimestral
- ☐ Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_

### ANEXO 3. Resultados encuesta N°3

Con el fin de obtener datos que fueran de utilidad para el modelo y a causa de falta de información se llevó a cabo una encuesta a una muestra de la población de la zona urbana del municipio de Zarzal.

Para determinar el tamaño de la muestra se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

$$n = \frac{N * Z^2 \alpha * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 \alpha * p * q} =$$

Siendo

N= Total de la población, en este caso es igual a 32.292.

$Z^2 \alpha = 1.96^2$ . Se escogió un nivel de confianza del 95%

p= proporción esperada en este caso es igual al 50% para maximizar el tamaño muestral

q= 1-0,5=0,5

d=Precisión, para este caso se empleará un 5%.

Cálculos:

$$n = \frac{32.292 * 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.05^2 * (32.292 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 379.65 = 380$$

De acuerdo a la fórmula la muestra debe ser igual a 380 personas de la población de Zarzal.

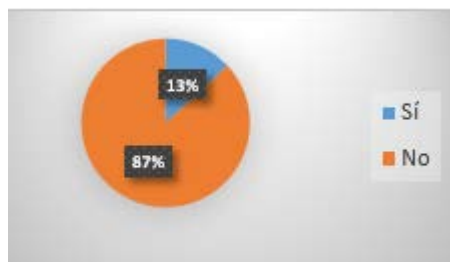
Los resultados de la encuesta son los siguientes:

Encuesta de conocimiento y hábitos sobre RAEE (Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos) Esta encuesta debe ser llenada por una muestra de la población de Zarzal. El objetivo de esta encuesta es conocer los hábitos de la población sobre el manejo y gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

¿Cuántas personas componen su unidad familiar?

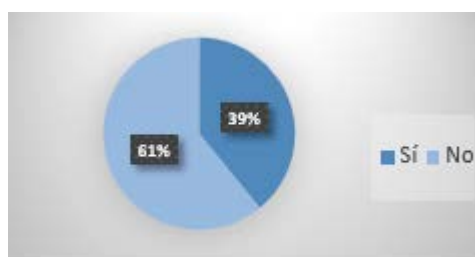
Como conclusión se obtuvo que en promedio el total de personas que viven en los hogares del municipio de Zarzal son 4.

¿Conoce la política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?



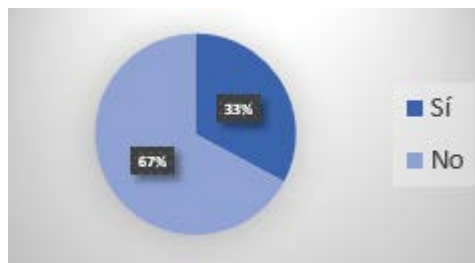
R/ Se observa que el conocimiento que tienen las personas sobre la Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos es muy mínimo, ya que sólo el 13% de la muestra dice conocerlo.

¿Considera que posee la información básica sobre las problemáticas ambientales que conlleva una gestión inadecuada de este tipo de residuos?



R/ El 61% de las personas encuestadas considera que posee información básica sobre las problemáticas ambientales que conlleva una gestión inadecuada de los RAEE.

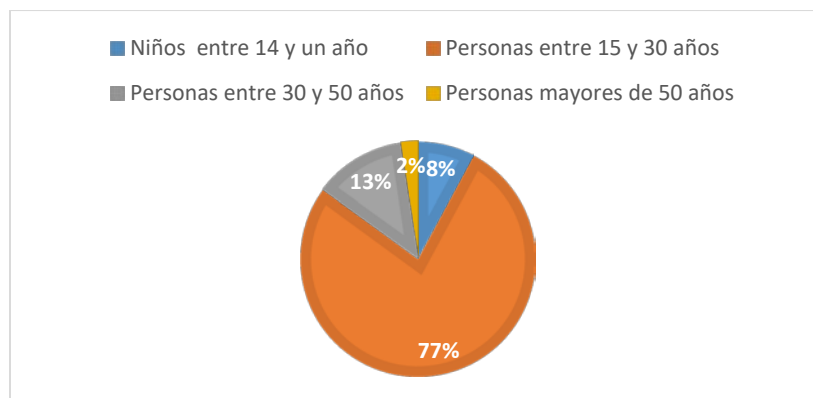
¿Conoce las condiciones necesarias para una debida separación, clasificación y reciclaje de los aparatos eléctricos y electrónicos?



R/ Se determina que la información que tienen las personas encuestadas sobre las condiciones para realizar la separación, clasificación y reciclaje de los RAEE, es muy baja, sólo el 33%.

¿Quiénes usan con mayor constancia los aparatos eléctricos y electrónicos en su hogar

- ☐ Disposición en puntos de recolección de RAEE
- ☐ Recolección puerta a puerta cada quince días
- ☐ Otros: \_\_\_\_\_



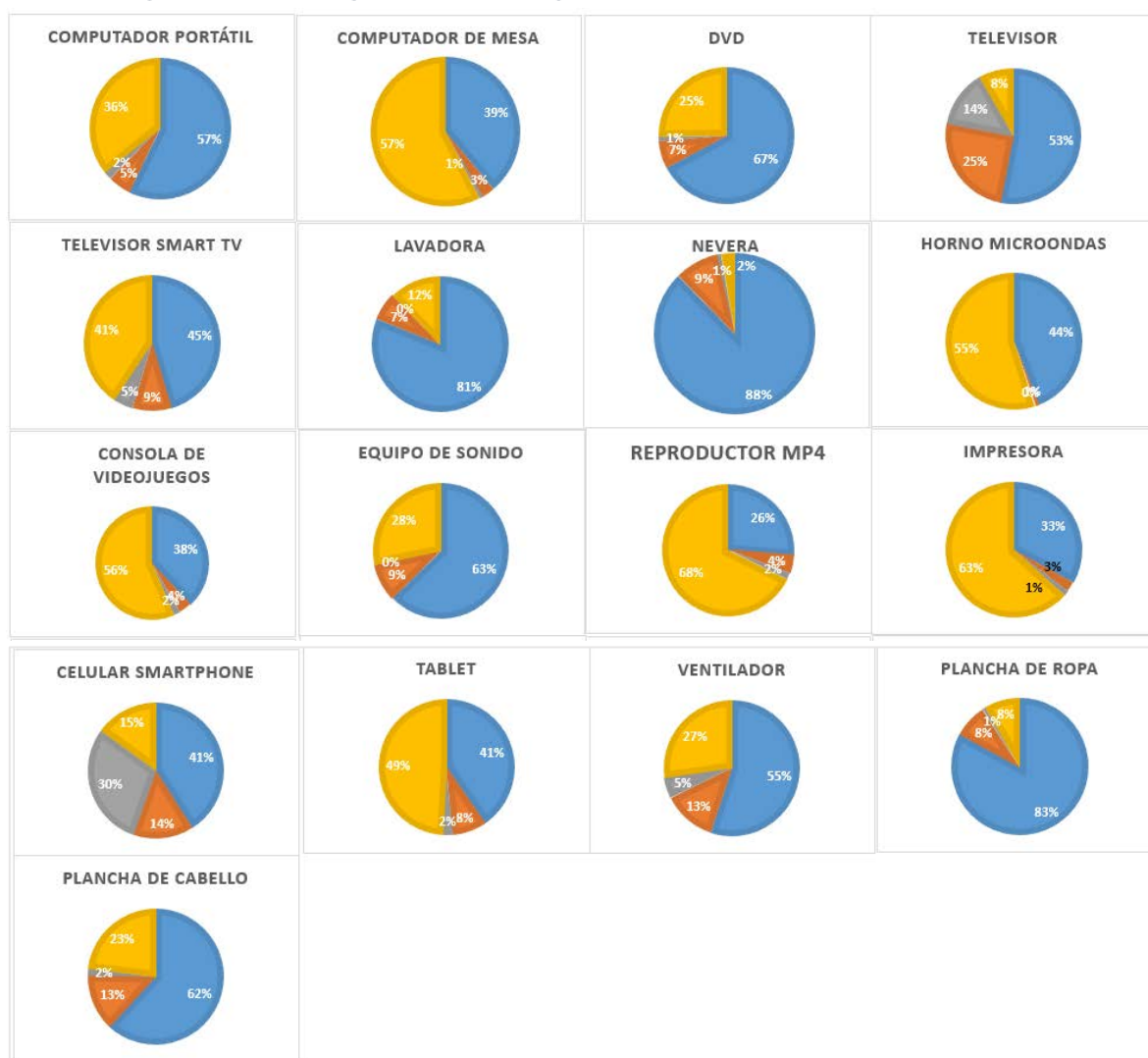
R/ Los resultados indican que las personas entre 15 y 30 años son las que usan los aparatos eléctricos y electrónicos con mayor frecuencia.

Seleccione la cantidad de aparatos eléctricos y electrónicos de los que dispone en su hogar.

	Entre 1 y 2	Entre 2 y 3	Entre 3 y 5	No dispongo de este aparato
-Computador portátil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Computador de mesa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-DVD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Televisor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Televisor Smart TV	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Lavadora	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Nevera	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Horno microondas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Consola de videojuegos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Equipo de sonido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Reproductor mp4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Impresora	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Celular Smartphone	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Tablet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Ventilador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Plancha de ropa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-Plancha de cabello	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



■ Entre 1 y 2 ■ Entre 2 y 3 ■ Entre 3 y 5 ■ No

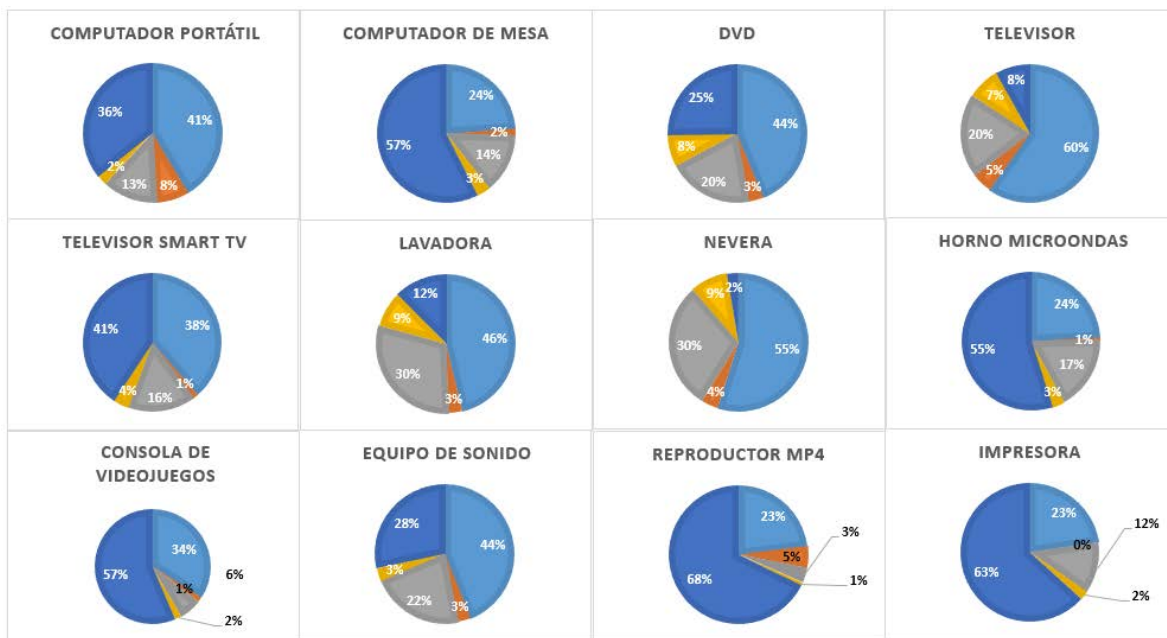


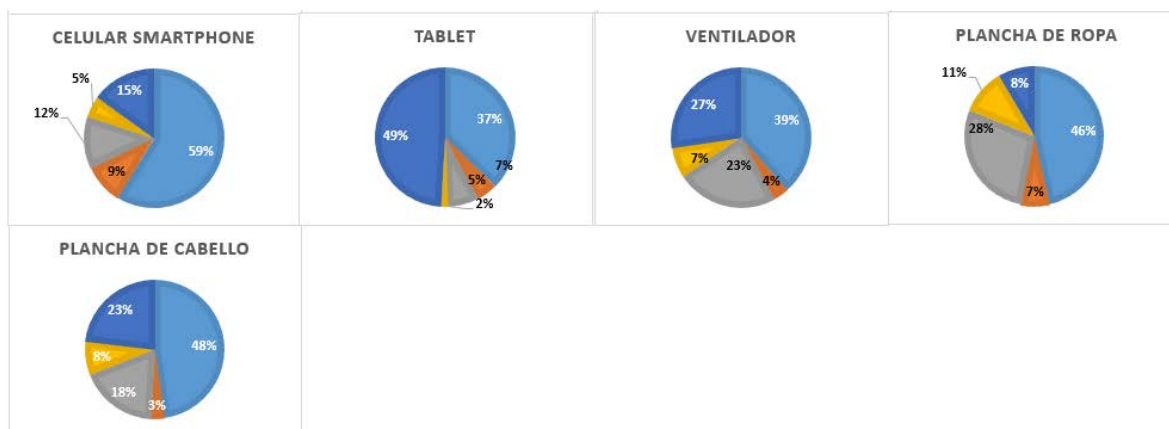
R/ Con estos resultados se determinó en cierta medida la cantidad de aparatos más comunes que se encuentran en un hogar del municipio de Zarzal, hallando que en promedio 66,35% de las personas cuentan con alguno o varios de estos.

¿Cuáles de las siguientes razones inciden para que usted renueve los aparatos eléctricos y electrónicos de su hogar?

	Adquirir un dispositivo con mejor tecnología	Perdida o hurto	Altos costos de reparación	Garantía	No dispongo de este aparato
Computador portátil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Computador de mesa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
DVD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Televisor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Televisor Smart TV	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lavadora	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nevera	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Horno microondas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Consola de videojuegos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equipo de sonido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reproductor mp4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impresora	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Celular Smartphone	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tablet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ventilador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Plancha de ropa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Plancha de cabello	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

☐ Adquirir un dispositivo con mejor tecnología
 ☐ Perdida o hurto
 ☐ Altos costos de reparación
 ☐ Garantía
 ☐ No





R/ Al analizar los resultados y realizar un promedio, dio como resultado que 40% de las personas renuevan un aparato eléctrico y electrónico debido al deseo de adquirir uno con mejor tecnología.

¿Con qué frecuencia renueva los aparatos eléctricos y electrónicos?

	Menos de 1 año	Entre 1 y 2 años	Entre 2 y 3 años	Entre 3 y 5 años	5 años o más	No dispongo de este aparato
Computador portátil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Computador de mesa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DVD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Televisor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Televisor Smart TV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lavadora	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nevera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Horno microondas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consola de videojuegos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equipo de sonido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reproductor mp4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Impresora	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Celular Smartphone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tablet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ventilador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plancha de ropa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plancha de cabello	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

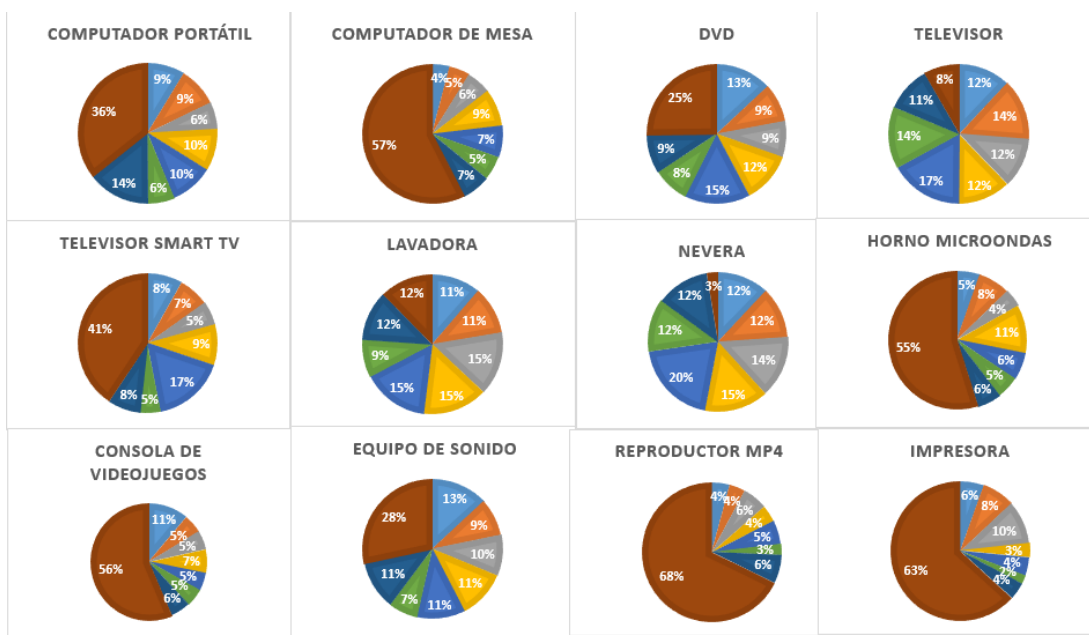
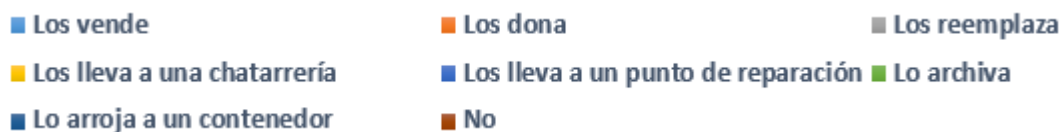
■ Menos de 1 año ■ Entre 1 y 2 años ■ Entre 2 y 3 años ■ Entre 3 y 5 años ■ 5 años o más ■ No

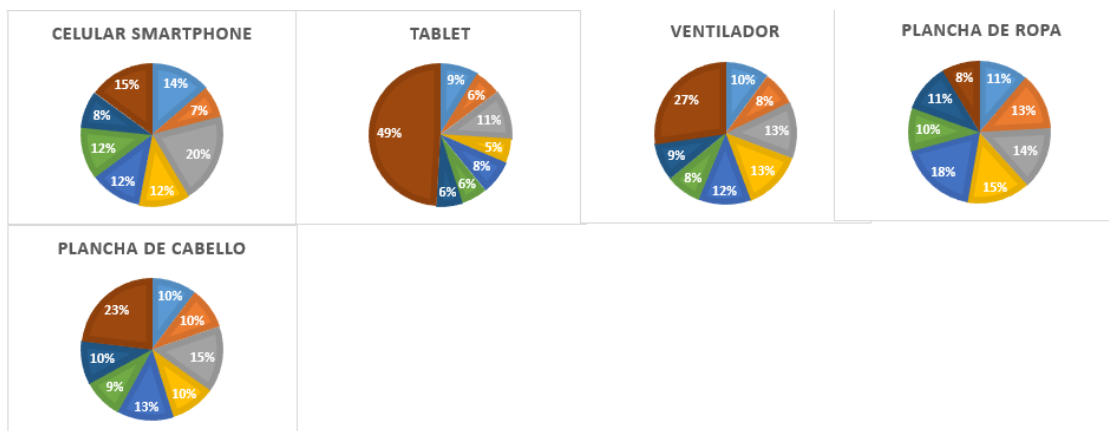


R/ De acuerdo al promedio de los resultados el 25% de las personas renuevan los aparatos es con una frecuencia de 5 años o más, siendo la renovación más frecuente la de los Smartphone.

¿Qué acciones realiza con los residuos eléctricos y electrónicos o aparatos que ha dejado de usar o han presentado fallas?

	Los Dona	Los lleva a una chatarrería	Lo arroja a un contenedor	Los vende	Lo archiva	Lo lleva a un punto de reparación	Los reemplaza	No dispongo de este aparato
Computador portátil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Computador de mesa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DVD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Televisor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Televisor Smart TV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lavadora	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nevera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Horno microondas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consola de videojuegos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equipo de sonido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reproductor mp4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Impresora	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Celular Smartphone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tablet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ventilador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plancha de ropa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plancha de cabello	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

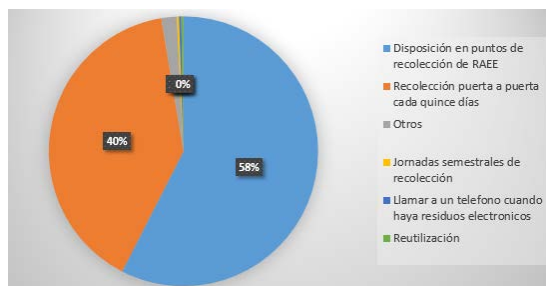




R/ Las acciones que realizan más frecuentemente las personas con aparatos eléctricos o electrónicos o que ha dejado de usar es en promedio llevarlos a un punto de reparación (12%)

¿Cómo preferiría realizar la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

- ☐ Disposición en puntos de recolección de RAEE
- ☐ Recolección puerta a puerta cada quince días
- ☐ Otros: \_\_\_\_\_



R/ el 58% de las personas encuestadas les gustaría que hubiera puntos de recolección de RAEE

- Los resultados obtenidos a través de la encuesta en las preguntas sobre conocimiento de la gestión de RAEE demuestran la poca información con la que cuentan las personas del municipio de Zarzal en cuanto a la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, sólo un 30% del promedio dice tener claro estos conceptos.
- La frecuencia de renovación de los aparatos eléctricos es el 25% por casa 5 años o más. Se identifica que el comportamiento de las personas frente a la renovación no es muy recurrente.
- Entre las acciones que toman las personas al querer tomar acción para deshacerse de un aparato eléctrico o electrónico en buen o mal estado está la de llevarlo a un punto de reparación con el 12%, llevarlo a una chatarrería, donarlos o venderlos 10%
- En cuanto a nuevas alternativas de gestión de RAEE un 58% de las personas encuestadas eligen la existencia de puntos de recolección de RAEE.

ANEXO 4 Ciclo de vida de los RAEE por categoría

Categoría		Ciclo de vida		Promedio
Grandes electrodomésticos:	Lavadoras	14 años	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	10 años
	Neveras	10 años	(CORANTIOQUIA, y otros)	
	Horno microondas	7 años	(CORANTIOQUIA, y otros)	
	Ventilador	9 años	(CORANTIOQUIA, y otros)	
Pequeños electrodomésticos	Planchas	10 años	(CORANTIOQUIA, y otros)	7,5 años
	Planchas de cabello	5 años	(CORANTIOQUIA, y otros)	
Equipos de informática y telecomunicaciones:	Computadores.	5 años	(Velázquez Tana)	3,6 años
	Impresoras	3 años	(Consejos impresoras, 2015)	
	Celulares	3 años	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	
	Tablet	3 años	(Perú Hardware, 2011)	
	Reproductor mp4	4 años		
Juegos y equipos deportivos:	Consola videojuegos.	6 años	(CORANTIOQUIA, y otros)	6 años
Aparatos eléctricos de consumo:	Televisores	10 años	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	7,3 años
	Equipo de sonido	7 años	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	
	DVD	5 años	(CORANTIOQUIA, y otros)	

ANEXO 5. Peso de los AEE

Categoría		Peso	Referencias	
Grandes electrodomésticos:	<b>Lavadoras</b>	39,38 kg	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	29,85 kg
	<b>Neveras</b>	70 Kg	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	
	Horno microondas	3,01 kg	(Haceb, s.f.)	
	Ventilador	7 kg	(Falabella, s.f.)	
Pequeños electrodomésticos	Planchas	0,57 kg	(Homeelements, s.f.)	0,47
	Planchas de cabello	0,375 kg	(Exito, s.f.)	
Equipos de informática y telecomunicaciones:	<b>Computadores.</b>	2 kg	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	0,99
	Impresoras	2,33 kg	(HP online, s.f.)	
	<b>Celulares</b>	0,25 kg	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	
	Tablet	0,338 kg	(El Español, s.f.)	
	Reproductor mp4	0,033 kg	(Philips, s.f.)	
Juegos y equipos deportivos:	Consola videojuegos.	3,3 kg	(SONY, s.f.)	3,3
Aparatos eléctricos de consumo:	<b>Televisores</b>	13,73 kg	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	6,48



	Equipo de sonido	2,7 kg	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	
	DVD	3,01 kg	(Casas, Cerón, Vidal, Peña, & Osorio, 2015)	
9.87 kg en promedio				